

Aus der Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie  
Direktor: Professor Dr. med. Hinnerk Wulf  
und dem Zentrum für Notfallmedizin  
Leiter: Professor Dr. med. Clemens Kill  
des Fachbereichs Medizin der Philipps Universität Marburg

**Erhöht invasives Monitoring die  
Patientensicherheit im Rettungsdienst?  
Eine prospektive Untersuchung zur  
prähospitalen invasiven Blutdruckmessung und  
Blutgasanalyse bei kritisch kranken und  
verletzten Patienten**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der  
gesamten Humanmedizin

dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg  
vorgelegt von

Björn Hahn aus Marburg  
Marburg, 2016

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität  
Marburg am 19.10.2016.

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Herr Prof. Dr. H. Schäfer

Referent: Herr Prof. Dr. C. Kill

1. Korreferent: Herr Prof. Dr. W. Grimm

Meiner Familie

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Thema.....	1
1.2	Ausgangslage .....	3
1.3	Ungelöste Fragestellungen .....	7
1.4	Ziele der vorliegenden Studie .....	7
2	Material und Methoden .....	9
2.1	Einschlusskriterien .....	9
2.2	Ausschlusskriterien .....	9
2.3	NACA-Score .....	9
2.4	Geräte .....	10
2.4.1	EKG-Gerät mit Kapnographie .....	10
2.4.2	Blutgasanalysegerät .....	11
2.4.3	Drucker des Blutgasanalysegerätes .....	12
2.4.4	Kartuschen zur Blutgasmessung .....	12
2.4.5	Arteriell Messsystem .....	15
2.4.6	Katheter zur arteriellen Punktion.....	16
2.5	Personal.....	18
2.6	Durchführung .....	18
2.6.1	Technik der arteriellen Punktion .....	23
2.6.2	Direkte Punktion der Arterie mit FloSwitch.....	24
2.6.3	Anlage der arteriellen Leitung .....	24
2.7	Studiendesign .....	28
2.8	Statistische Auswertung .....	29
3	Ergebnisse .....	31
3.1	Geschlecht, Alter und Altersverteilung.....	31
3.2	Diagnosen.....	32
3.3	Invasive Blutdruckmessung .....	34
3.3.1	Punktionsorte und -techniken .....	34
3.3.2	Übersicht der Messwerte .....	34
3.3.3	Korrelation NIBP-IBP .....	39



3.3.4	Therapeutische Interventionen .....	46
3.4	Point-Of-Care-Labor .....	49
3.4.1	Übersicht der Messwerte .....	49
3.4.2	Parameter im zeitlichen Verlauf .....	51
3.4.3	Kritische Messwertüberschreitungen .....	59
3.4.4	Arterio-endexpiratorische CO <sub>2</sub> -Differenz (PaCO <sub>2</sub> -etCO <sub>2</sub> ) .....	60
3.4.5	Arterio-endexpiratorische Differenz (PaCO <sub>2</sub> -etCO <sub>2</sub> ) bei messbarem und nicht-messbarem non-invasiven Blutdruck nach Riva-Rocci ....	62
3.4.6	Therapeutische Interventionen .....	62
3.4.7	Point-Of-Care-Labor bei Reanimation .....	63
3.4.8	Praktischer Einsatz des Blutgasmessgerätes .....	64
3.4.9	Fallbeispiele .....	65
4	Diskussion.....	69
4.1	Demographische Daten .....	69
4.2	Patienteneinteilung nach NACA-Score .....	69
4.3	Invasive Blutdruckmessung .....	70
4.3.1	Therapeutische Interventionen auf Grundlage der invasiven Blutdruckmessung.....	73
4.4	Point-Of-Care Labor .....	74
4.4.1	Praktischer Einsatz des Blutgas-Messgerätes.....	74
4.4.2	Verwendete Kanüle zur arteriellen Punktion .....	75
4.4.3	Kritische Messwertüberschreitungen .....	75
4.4.4	Point-Of-Care-Labor bei Reanimation .....	75
4.4.5	Arterio-endexpiratorische CO <sub>2</sub> -Differenz.....	76
4.4.6	Therapeutische Interventionen auf Grundlage der Blutgasanalyse .....	79
4.5	Ausblick in die Zukunft.....	80
5	Zusammenfassung .....	81
6	Literaturverzeichnis.....	83
7	Abbildungsverzeichnis .....	87
8	Tabellenverzeichnis .....	90
9	Abkürzungsverzeichnis .....	91
10	Danksagung.....	93

11 Verzeichnis der akademischen Lehrer.....	94
12 Anhang: Studienprotokoll.....	95

# 1 Einleitung

## 1.1 Thema

Die Wiederherstellung und Überwachung stabiler Kreislaufverhältnisse ist eine der wichtigsten Aufgaben der Notfallmedizin. Zur Überwachung des Herzkreislaufsystems von Patienten stehen in der klinischen und präklinischen Notfall- und Intensivmedizin die kontinuierliche Ableitung des Elektrokardiogramms, die Pulsoxymetrie, die Kapnographie, die manuelle intermittierende Blutdruckmessung nach Riva-Rocci und Korotkow sowie die intermittierende oszillometrische Blutdruckmessung zur Verfügung. In der klinischen Notfall- und Intensivmedizin stehen zudem über den arteriellen Zugang die invasive Blutdruckmessung und die Blutgasanalyse zur Verfügung. Im außerklinischen Intensivtransport gehört der arterielle Zugang bei hämodynamisch oder respiratorisch instabilen Patienten ebenso zum Standard. Die Anlage des arteriellen Zugangs ist jedoch in der präklinischen Notfallmedizin die absolute Ausnahme und nicht als Standardequipment auf den notärztlich besetzten Rettungsmitteln vorgeschrieben.

Die Versorgung kreislaufinstabiler Patienten erfolgt durch Volumengabe und Gabe vasoaktiver Substanzen. Hier kommt der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Blutdruckmessung besondere Bedeutung zu. Intermittierende, ungenaue und nicht durchführbare Blutdruckmessungen können sich zum Nachteil des Patienten auswirken [19,26,28,29,39]. Über den arteriellen Zugang kann der Blutdruck kontinuierlich gemessen werden. In der Literaturrecherche fanden sich zahlreiche Ergebnisse zur Anwendung der invasiven Blutdruckmessung im Krankenhaus (bei Operationen und in der Intensivmedizin) sowie dem außerklinischen Intensivtransport. Jedoch finden sich keine Studien zur Genauigkeit und Zuverlässigkeit der non-invasiven Blutdruckmessung bei schwer kranken und verletzten Patienten in der präklinischen Notfallmedizin. Die hier vorliegende Studie wurde durchgeführt, um Messwerte der non-invasiven Blutdruckmessung mit der invasiven Blutdruckmessung zu vergleichen. Die invasive Blutdruckmessung war hier der Goldstandard [48]. Ausserdem sollte die Durchführbarkeit, die Genauigkeit und die Häufigkeit von Interventionen aufgrund der invasiven Blutdruckmessung untersucht werden.

Eine der wichtigsten Maßnahmen im Management schwerkranker und schwerverletzter Notfallpatienten ist die Intubation zur Atemwegssicherung und Ventilation. Hierdurch besteht auch präklinisch die Möglichkeit der Anpassung der Beatmung an die individuellen Bedürfnisse des Notfallpatienten – und nicht umgekehrt. Die Einstellung der Ventilation erfolgt durch den Einsatz der endtidalen  $\text{CO}_2$ -Messung ( $\text{etCO}_2$ ). Diese ist nahezu flächendeckend auf Arzt besetzten Rettungsmitteln verfügbar. Die Einstellungsparameter der präklinischen maschinellen Beatmung werden vom Notarzt anhand des Idealgewichts des Patienten und seiner Körpergröße geschätzt. Danach kontrolliert der Notarzt den Erfolg mittels Kapnometrie (Messung des endtidalen  $\text{CO}_2$ ). Durch den arteriellen Zugang können wiederholt Blutentnahmen erfolgen, um eine Blutgasanalyse durchzuführen. Dadurch können die Beatmungseinstellungen, der Säure-Basenhaushalt und der Elektrolythaushalt überprüft und angepasst werden.

Für das Spektrum Schwerverletzter oder akut lebensbedrohlich erkrankter Patienten fehlen bislang Daten über die Zuverlässigkeit von  $\text{etCO}_2$ . Hierzu wurde in der vorliegenden Arbeit durch die Blutgasanalyse der arterielle Kohlendioxidpartialdruck ( $\text{PaCO}_2$ ) als Referenzparameter bei intubierten und beatmeten Patienten bestimmt. Es wurde untersucht, inwieweit  $\text{etCO}_2$  präklinisch mit  $\text{PaCO}_2$  korreliert und die arterio-endexpiratorische  $\text{CO}_2$ -Differenz ( $\text{PaCO}_2$ - $\text{etCO}_2$ ) in diesem Patientenkollektiv bestimmt.

Über den Säure-Basenhaushalt und die Elektrolytsituation kann ohne Blutgasanalyse derzeit keine direkte Aussage getroffen werden. Mit Hilfe der Blutgasanalyse kann präklinisch bei einer Reanimation die nahezu immer bestehende Azidose quantifiziert und die metabolischen und respiratorischen Anteile dargestellt werden. Die metabolische Komponente muss somit nicht „blind“ gepuffert werden, sondern kann gezielt therapiert werden. Hier wurde die Häufigkeit von pathologischen Werten und sich daraus ergebenden Interventionen auf Grundlage der durchgeführten Blutgasanalyse untersucht.

## 1.2 Ausgangslage

Die non-invasive Blutdruckmessung durch Auskultation mittels der Korotkow-Geräusche ergibt ungenaue Werte [19]. Die non-invasiv gemessenen systolischen Werte sind niedriger und die diastolischen höher als die invasiv gemessenen [19, 39]. Die Diskrepanz zwischen non-invasiven und invasiven Blutdruckwerten ist hoch. In der Arbeit von Breit und O'Rourke liegt der Unterschied zwischen den beiden Methoden bei bis zu 25mmHg [5].

Bereits 1988 zeigten Low und Martin [26], dass die non-invasive Blutdruckmessung bei instabilen Patienten unzureichend ist und zu falschen Therapieentscheidungen führen kann. Auch Morley zeigte in seinen Untersuchungen zur non-invasiven Messung eine nur eingeschränkte Zuverlässigkeit insbesondere bei hämodynamisch instabilen Patienten unter den Bedingungen der präklinischen Notfallmedizin [29]. Bei großen elektiven bauch-, thorax- und gefäßchirurgischen Eingriffen an erwachsenen Patienten haben Iliès et al. gezeigt, dass bei Narkoseeinleitung und niedrigem arteriellem Blutdruck die non-invasive Blutdruckmessung ungenau ist [21].

Die Literatur liefert Hinweise darauf, dass die non-invasive Blutdruckmessung nur bei gesunden Patienten annähernd genau und bei extrem hohen oder niedrigen Blutdruckwerten zunehmend ungenau ist [26]. Auch die oszillometrische Blutdruckmessung zeigt niedrige Blutdruckwerte höher und höhere Blutdruckwerte niedriger an. Diese ist deshalb bei kritisch kranken Patienten keine Alternative zur invasiven Blutdruckmessung [43].

Die sofortige Erkennung und Behandlung von bedrohlichen Veränderungen der Kreislagsituation und insbesondere der Hypotension ist maßgeblich für das Outcome des Patienten. Zahlreiche Studien belegen die Bedeutung der kontinuierlichen Blutdruckmessung. So verursacht die prolongierte Hypotension 56% der intraoperativen Asystolien [49]. Über 20% der intraoperativen hypotensiven Phasen werden durch die non-invasive Blutdruckmessung nicht erfasst, weitere 20% erst mit Verzögerung [9].

In zahlreichen Leitlinien finden sich daher Forderungen zur invasiven Blutdruckmessung wieder. Bei der Versorgung von polytraumatisierten Patienten und ebenso bei Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma (SHT) wird das kontinuierliche Blutdruckmonitoring so früh wie möglich gefordert [58].

Für Schädel-Hirn-Verletzungen wie auch für intrakranielle Blutungen liegen Daten vor, welche die Notwendigkeit zur Minimierung hypotensiver Phasen zur Verbesserung des Outcomes durch invasives Monitoring belegen [7, 38, 57]. Mehrere Autoren fordern hierzu bei Patienten mit SHT einen systolischen Blutdruck von 90mmHg niemals zu unterschreiten [6, 27]. Zudem wird bei diesen Patienten durch die frühe Optimierung des Blutdrucks und damit des intrakraniellen Druckes und des cerebralen Perfusionsdruckes die Entstehung sekundärer Komplikationen vermindert [27].

In der Leitlinie der European Society of Cardiology (ESC) zur Behandlung des ST-Elevationsinfarkts besteht die Empfehlung zur invasiven Blutdruckmessung, wenn eine schwere Hypotension vorliegt, die Patienten Vasopressoren oder positiv inotrope Substanzen erhalten haben oder sich die Patienten im kardiogenen Schock befinden [50].

Besonders bei Patienten mit einem systolischen Blutdruck unter 90mmHg wurde gezeigt, dass das Standardequipment des Rettungsdienstes zur Blutdruckbestimmung ungenau ist [32].

In der klinischen Intensiv- und Notfallmedizin ist die Verwendung der invasiven Blutdruckmessung bei hämodynamisch instabilen Patienten heute unstrittiger Goldstandard und wird bei der aktuellen Suche nach alternativen non-invasiven Verfahren zur umfassenden Herz-Kreislaufüberwachung für unverzichtbar eingestuft [48]. Auch der außerklinische Transport kritisch Kranker sollte auf dem Niveau einer Intensivstation ablaufen, daher wird dafür die invasive Blutdruckmessung als kontinuierliches Monitoring gefordert [54]. Besonders bei hämodynamisch instabilen und katecholaminpflichtigen Patienten ist die invasive Blutdruckmessung sinnvoll einzusetzen [20] und gilt als sicherste Methode zur Überwachung von kritisch kranken Patienten während des Transportes [41]. Im rettungsdienstlichen Aufgabenbereich des ärztlich begleiteten Intensivtransports wird die invasive Blutdruckmessung bereits regelhaft eingesetzt und ist dort als Standard etabliert.

Die Kapnographie stellt heute ein Standardverfahren dar [31, 40], um das endtidale Kohlendioxid (etCO<sub>2</sub>) kontinuierlich und non-invasiv in der Expirationsluft zu bestimmen. Während Operationen, auf Intensivstationen und auch im Rettungsdienst wird es routinemäßig angewendet zur Verifizierung der

Tubuslage, Überwachung der Effektivität der Herzdruckmassage bei Reanimation und Einstellung des Respirators bei beatmeten Patienten. Der Vorteil der Kapnographie besteht in der kontinuierlichen Messung. Dadurch können Fehlintonation, Diskonnektion, Abknicken und Dislokation des Tubus schnell bemerkt werden. Die Kapnographie ist einfach durchzuführen und auch in tragbaren Geräten verfügbar. Das  $\text{etCO}_2$  wird vom Gerät mittels Infrarotabsorption im Expirationsgemisch im Haupt- oder Nebenstromverfahren gemessen. Bei den heute in der Klinik und im Rettungsdienst üblichen Geräten wird jeder einzelne Atemzug als Kurve dargestellt. Bei der Inspiration liegt die Kurve auf dem Nullpunkt und steigt in der Expirationsphase schnell an, um am Ende der Expiration ein Plateau zu erreichen, welches das  $\text{etCO}_2$  darstellt.

Definitionsgemäß entspricht der endexpiratorische  $\text{CO}_2$ -Wert ( $\text{etCO}_2$ ) dem alveolären  $\text{CO}_2$ -Wert ( $\text{P}_\text{ACO}_2$ ) und dieser dem arteriellen  $\text{CO}_2$ -Wert ( $\text{PaCO}_2$ ). Jedoch gibt es auch unter physiologischen Bedingungen eine arterio-endexpiratorische Differenz ( $\text{AaDCO}_2$ ) von 3-8mmHg [22]. Diese erklärt sich dadurch, dass ein gewisser Anteil des Herzzeitvolumens den Gasaustausch umgeht (Venae thebesii des linken Herzens, Bronchialarterien, pulmonale arterio-venöse Anastomosen). So gelangen etwa 2 bis 5 % des Herzzeitvolumens nicht arteriell in die Aorta. Hierdurch wird das  $\text{PO}_2$  reduziert und das  $\text{PaCO}_2$  erhöht. Weiterhin wird das alveoläre  $\text{PCO}_2$  durch zwei Einflüsse gesenkt. Erstens wird das alveoläre  $\text{PCO}_2$  durch den anatomischen Totraum gesenkt und zweitens kommt es zu einer Dilution des alveolären  $\text{PCO}_2$  durch Luft mit einem niedrigerem  $\text{CO}_2$ , welches aus wenig durchbluteten Lungenarealen kommt, dem alveolären Totraum. Die arterio-endexpiratorische Differenz ist somit auch ein Maß für den alveolären Totraum [14]. Zu einer Erhöhung der arterio-endexpiratorischen  $\text{CO}_2$ -Differenz führt die Vergrößerung des alveolären Totraums, ein Abfall des Ventilations-/ Perfusionsverhältnisses, Rechts-Links-Shunts und Veränderungen im Inspirations-/ Expirationsverhältnis zu Gunsten der Expiration. Zu einem Abfall der arterio-endexpiratorischen  $\text{CO}_2$ -Differenz kommt es bei einer Verminderung des alveolären Totraums, einer Erhöhung des Atemminutenvolumens sowie bei einer Verschiebung des Inspirations-/Expirationsverhältnis zu Gunsten der Inspiration.

Insbesondere Krankheits- und Verletzungsbilder, die mit einer Störung der Ventilation beziehungsweise Perfusion der Lunge einhergehen, erhöhen die  $\text{CO}_2$ -Differenz. So steigt das  $\text{etCO}_2$  bei Hypoventilation, Anstieg der  $\text{CO}_2$ -Produktion und Abnahme des Herzzeitvolumens an. Es sinkt bei Hyperventilation, Abnahme des Herzzeitvolumen und erniedrigter pulmonaler Perfusion (z.B. Lungenembolie) [1, 10, 18, 35, 45, 53].

Daher ist besonders bei kritisch kranken und verletzten Notfallpatienten durch das Ventilations-Perfusions-Missverhältnis mit einer erhöhten arterio-endexpiratorischen Differenz zu rechnen als unter stabilen Kreislaufverhältnissen. Die Problematik einer adäquaten Beatmung und die negativen Auswirkungen einer falsch eingestellten Ventilation wurden in mehreren Studien bewiesen [15, 55, 56].

Die Verwendung mobiler Point-Of-Care-Analysatoren zur Blutgasanalyse am Patientenbett wird im Intensivtransport routinemäßig eingesetzt. Für diesen ist gezeigt worden, dass die Blutgasanalyse technisch zuverlässig durchführbar und geeignet ist, die Beatmung während des Transports zu optimieren und Entgleisungen des Gasaustausches und des Säure-Basen-Haushaltes früher und sicherer zu erkennen [24].

Die Verwendung im Rettungsdienst ist hingegen eine seltene Ausnahme. Dabei wurde bereits im Jahr 1990 für den Einsatz der Blutgasanalyse zur Überwachung des Gasaustausches und der Oxygenierung von Notfallpatienten plädiert [28]. Hetz et al. [17] testeten ein portables Blutgasanalysegerät (OPTI-1, Firma AVL Medizintechnik, Graz/Österreich) im präklinischen Einsatz innerhalb des Grazer Notarztwesens. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Blutgasanalyse eine erhebliche Bereicherung des diagnostischen Repertoires in der Notfallmedizin darstellt und damit zu einer erhöhten Sicherheit akut gefährdeter Patient führt. Sie gibt Hilfestellung bei der Indikation und Kontrolle der Beatmung sowie der medikamentösen Pufferung schon in der präklinischen Phase. Im Bereich der prähospitalen Reanimation konnte der Nutzen frühzeitiger Blutgasanalysen am Notfallort belegt werden [34]. Einzelne Arbeiten aus dem Bereich der Notfallmedizin belegen zudem, dass das endtidal gemessene Kohlendioxid ( $\text{etCO}_2$ ) das in der Blutgasanalyse gemessene ( $\text{PaCO}_2$ ) nicht ersetzen kann [10, 37].



### 1.3 Ungelöste Fragestellungen

Bislang ungelöst ist die Frage, ob im Boden gebundenen Rettungsdienst die intermittierende manuelle Blutdruckmessung nach Riva-Rocci oder die invasive kontinuierliche Blutdruckmessung zu jeder Zeit, auch unter Transportbedingungen, bei hoher Umgebungslautstärke oder mechanischen Erschütterungen, das zuverlässigste Verfahren darstellt. Unklar ist, wie oft es zu Blutdruckschwankungen während der präklinischen Patientenversorgung kommt, welche nur durch die kontinuierliche invasive Blutdruckmessung detektiert werden können und eine therapeutische Intervention zur Folge haben. Es ist ebenfalls unklar, wie hoch der Anteil der schwerkranken Notfallpatienten ist, die durch die Blutgasanalyse als solche erkannt werden können und auf Grundlage der Messwerte eine therapeutische Intervention erfahren. Hierbei ist von besonderem Interesse, wie groß der Unterschied zwischen endtidal und arteriell gemessenem Kohlendioxid (arterio-endexpiratorische  $\text{CO}_2$ -Differenz) bei beatmeten schwerkranken und schwerverletzten Patienten ist.

### 1.4 Ziele der vorliegenden Studie

In einer prospektiven Untersuchung soll die Messgenauigkeit der non-invasiven, diskontinuierlichen, manuellen Blutdruckmessung mit der invasiven, kontinuierlichen Blutdruckmessung verglichen werden. Als klinisch relevant wird eine Messwertabweichung von  $\geq 10\%$  des systolischen Blutdruckwertes angesehen. Weiterhin soll die Häufigkeit notärztlicher Intervention aufgrund der kontinuierlichen Messung außerhalb der festgesetzten Messintervalle für die intermittierende non-invasive Messung festgestellt werden.

Mittels der arteriellen Blutgasanalyse unter Verwendung eines Point-Of-Care-Analysators soll die Messgenauigkeit der Pulsoxymetrie validiert und die arterio-endexpiratorische  $\text{CO}_2$ -Differenz ( $\text{PaCO}_2$ -et $\text{CO}_2$ ) erfasst werden. Zudem sollen die Häufigkeiten von pathologischen Werten des Säure-Basen-Haushaltes und die deshalb erfolgten Interventionen bestimmt werden. Als klinisch relevant wird eine Abweichung von  $>5\%$  bei et $\text{CO}_2$  angesehen.

Es sollen maximal 58 Patienten untersucht werden. Ist das kritische Ereignis (klinisch relevante Fehlmessung) nach 58 Patienten nicht aufgetreten, so kann

mit einer 95%igen Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass es in der Grundgesamtheit aller betroffenen Patienten nicht häufiger als 5% auftritt (die obere Grenze des 90%-Konfidenzintervall bei Null Ereignissen unter 58 Beobachtungen beträgt 0-4,95%).

### **Übersicht der Fragestellungen**

1. Wie groß ist der Unterschied zwischen non-invasiv und invasiv gemessenen Blutdruckwerten bei kritisch kranken und verletzten Notfallpatienten? Dabei wird die invasive Blutdruckmessung als „Goldstandard“ gesetzt.
2. Wie oft werden auf Grund invasiv erhobener Blutdruckwerte außerhalb der Messintervalle therapeutische Interventionen ergriffen?
3. Hat die Interpretation von Blutgasen zu Therapieentscheidungen geführt? Dazu zählen Veränderungen der Beatmungsparameter und Pufferung des Säure-Base-Haushaltes.
4. Gibt es einen Unterschied zwischen endtidal ( $\text{etCO}_2$ ) und laborchemisch gemessenem Kohlendioxid ( $\text{PaCO}_2$ )? Wenn ja, wie hoch ist diese arterio-endexpiratorische  $\text{CO}_2$ -Differenz ( $\text{PaCO}_2\text{-etCO}_2$ )?

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Einschlusskriterien**

In die präklinische Studie wurden diejenigen Notfallpatienten eingeschlossen, bei denen der Notarzt auf Grund der Erkrankungs- oder Verletzungsschwere mit einem NACA-Score von mindestens V („akute Lebensgefahr besteht“) die Indikation zur Anlage einer arteriellen, invasiven Blutdruckmessung gestellt hat. Die voraussichtliche Transportdauer ins Zielkrankenhaus musste mindestens 15 Minuten betragen.

### **2.2 Ausschlusskriterien**

Die Ausschlusskriterien bestanden in der Notwendigkeit zum sofortigen Notfalltransport aufgrund vermuteter Indikation zur Notfalloperation, bei Ablehnung der geplanten Maßnahme durch den geschäftsfähigen Patienten, wenn keine personellen Ressourcen vorhanden waren und bei erfolgloser arterieller Punktion innerhalb von fünf Minuten.

### **2.3 NACA-Score**

Der NACA-Score ist ein einfaches, international und national etabliertes Scoringssystem zur Einordnung der Erkrankungs- und Verletzungsschwere von Patienten in der Präklinik. Der Score beschreibt den kritischsten Zustand während der präklinischen Behandlung und richtet sich vor allem nach der Dringlichkeit der klinischen Versorgung. Er dient auch der Einsatzbewertung im Anschluss der notärztlichen Versorgung. Der NACA-Score wird in sieben Gruppen eingeteilt, die mit römischen Ziffern benannt werden.

NACA		
I	Geringfügige Störung	Verletzungen und Erkrankungen geringfügiger Art , die keiner akuten ärztlichen Therapie bedürfen
II	Ambulante Abklärung	Verletzungen und Erkrankungen , die zwar einer weiteren Abklärung oder Therapie bedürfen , aber in der Regel keine notärztlichen Maßnahmen erfordern
III	Stationäre Abklärung	Verletzungen und Erkrankungen , die in der Regel einer stationären Abklärung oder Therapie bedürfen , bei denen jedoch akut keine Vitalgefährdung zu erwarten ist . Notärztliche Maßnahmen sind aber erforderlich
IV	Akute Lebensgefahr nicht auszuschließen	Verletzungen und Erkrankungen ohne Lebensgefahr, die aber eine kurzfristige Entwicklung einer Vitalgefährdung nicht ausschließen
V	Akute Lebensgefahr	Verletzungen und Erkrankungen mit akuter Vitalgefährdung , die ohne baldige Therapie wahrscheinlich letal enden ,Transport in Reanimationsbereitschaft
VI	Reanimation	Verletzungen und Erkrankungen , wo nach Wiederherstellung der Vitalfunktionen oder nach erfolgreicher Reanimation die Patienten ins Krankenhaus gebracht werden können
VII	Tod	Tödliche Verletzungen und Erkrankungen mit und ohne Reanimationsversuch auch wenn die Reanimation auf dem Transport erfolglos weitergeführt wurde

Abbildung 1: NACA-Score nach Tryba [52]

## 2.4 Geräte

### 2.4.1 EKG-Gerät mit Kapnographie

Das speziell für den präklinischen Bereich entwickelte EKG-Gerät (Corpuls 08/16, GS Elektromedizinische Geräte G. Stemple GmbH, Kaufering/ Deutschland) verfügte über 12-Kanal-EKG, externen Defibrillator, Schrittmacherfunktion, Kapnographie, Pulsoxymetrie, invasive Blutdruckmessung und einen Monitor. Das Gerät wurde standardmäßig beim

Rettungsdienst Mittelhessen auf allen Notarzteinsatzfahrzeugen eingesetzt. Die Notärzte und Rettungsassistenten auf den Notarzteinsatzfahrzeugen waren somit auf dieses Gerät geschult und im Umgang vertraut. Lediglich für die Funktion der invasiven Blutdruckmessung mussten die Mitarbeiter nachgeschult werden. Diese erfolgte nach dem Medizinproduktegesetz und durch praktische Übungen.



Abbildung 2: Corpuls 08/16

#### 2.4.2 Blutgasanalysegerät

Das verwendete Blutgasanalysegerät (Abbott i-STAT, Abbott Point of Care Inc., New Jersey/USA) war für den Einsatz als bedside-Gerät vorgesehen. Auf Grund seiner Größe, dem Batteriebetrieb sowie der einfachen Bedienung war es direkt am Patientenbett („bedside“) verwendbar. Mit diesem Blutgasanalysegerät ließen sich im bedside-Test die Blutgase, die Elektrolyte, das Hämoglobin und der Hämatokrit bestimmen. Der Analysator hatte geringe Abmessungen (Höhe/Breite/Tiefe: 21/6/5cm), wog 520g und war mit einer Lithiumbatterie unabhängig vom Stromnetz einsetzbar. Die Batterien hatten eine Funktionsdauer von bis zu 250 Analysen. Die Betriebstemperatur lag zwischen 16°C und 30°C, die Transporttemperatur zwischen -10°C bis +50°C. Die relative Luftfeuchtigkeit durfte für den ordentlichen Betrieb 65% nicht übersteigen. Der Analysator besaß ein integriertes Barometer, ein Thermometer und einen Speicher für die letzten 50 Messergebnisse, die via Infrarotschnittstelle an einen kleinen Drucker übertragen werden konnten.

Dadurch konnten die gemessenen Blutgase bereits bei der Übergabe der Patienten an die Zielklinik ausgedruckt werden.

### **2.4.3 Drucker des Blutgasanalysegerätes**

Mit dem batteriebetriebenen Infrarot-Drucker (Abbott Point of Care Inc., New Jersey/USA) konnten Analysedatensätze direkt am Patientenbett ausgedruckt werden. Der Drucker wurde dazu an die Infrarot-Schnittstelle des Analysators gelegt, um die Übertragung zu gewährleisten. Dieser Drucker wurde ebenfalls mitgeführt, um eine Weitergabe der erhobenen Messwerte an die Zielklinik zu ermöglichen.

### **2.4.4 Kartuschen zur Blutgasmessung**

Die dazugehörigen Einmal-Kartuschen (Abbott Point of Care Inc., New Jersey/USA) enthielten verschiedene Biosensoren, eine Kalibrierlösung, ein Probentransfersystem, eine Abfallkammer und Kontakte für die elektronische Verbindung mit dem Analysator. Die in der Studie verwendete Kartusche EG7+ verfügte zusätzlich noch über Heizelemente, um die Probe auf eine Analysetemperatur von 37°C zu erhitzen. Die verschiedenen Kartuschen mussten, da sie auch die erforderlichen Kalibrierlösungen enthielten, im Kühlschrank gelagert werden. Für die Messung war es erforderlich, dass die Kartusche dieselbe Temperatur wie der Analysator besaß. Sie wurde deshalb vor Gebrauch auf Raumtemperatur erwärmt. Einzelne Kartuschen konnten auch benutzt werden, nachdem sie fünf Minuten bei Zimmertemperatur gestanden haben. Eine ganze Kartuschenpackung musste eine Stunde lang bei Raumtemperatur aufgewärmt werden. Sämtliche Kartuschen mussten unmittelbar nach Öffnen des Schutzbeutels verwendet werden. Bei einer Lagerungstemperatur zwischen 2°C bis 8°C waren sie bis zum angegebenen Verfallsdatum haltbar. Bei Raumtemperatur zwischen 18°C und 30°C waren sie zwei Wochen haltbar. Auf dem Notarzteinsatzfahrzeug wurden sowohl

ungekühlte Kartuschen als auch Kartuschen in der Kühlbox mitgeführt. Die ungekühlten Kartuschen wurden nach Entnahme aus der Kühlkette mit dem entsprechenden Verfallsdatum versehen. Je nach Konfiguration der Kartuschen beinhalteten die Messsensoren Dünnschichtelektroden für die direkte ionenselektive oder enzymvermittelte Elektrodenpotentiometrie (Bestimmung der Elektrolyte, Harnstoff, pH,  $p\text{CO}_2$ ), Konduktion (Bestimmung des Hkt), Amperometrie ( $p\text{O}_2$ ) und enzymvermittelte Amperometrie (Glukose). Mit der in der Studie verwendeten Kartusche EG 7+ ließen sich folgende Werte messen: Natrium, Kalium, ionisiertes Calcium, Hämatokrit, pH,  $p\text{CO}_2$ ,  $p\text{O}_2$ . Zusätzlich wurden folgende Parameter berechnet:  $\text{TCO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , BE,  $\text{sO}_2$ , Hämoglobin. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die gemessenen (Tabelle 1) und berechneten (Tabelle 2) Werte und deren Messbereiche von den verwendeten EG7+ Kartuschen.

Gemessene Werte:

ANALYSE	MASSEINHEIT	MESSBE- REICH	REFERENZ- BEREICH	(venös)
			(arteriell)	
Natrium	mmol/l	100-180	138-146	138-146
Kalium	mmol/l	2,0-9,0	3,5-4,9	3,5-4,9
Chlorid	mmol/l	65-140	98-109	98-109
Glukose	mmol/l	1,1 -38,9	3,9-5,8	3,9-5,8
	mg/dl	20-700	70-105	70-105
	g/l	0,20-7,00	0,70-1,05	0,70-1,05
Laktat	mmol/l	0,30-20,00	0,36-1,25	0,90-1,70
	mg/dl	2,7-180,2	3,2-11,3	8,1 -15,3
Kreatinin	mg/dl	0,2-20,0	0,6-1,3	0,6-1,3
pH		6,5-8,2	7,35 - 7,45	7,31 -7,41
PCO <sub>2</sub>	mmHg	5-130	35-45	41 -51
TCO <sub>2</sub>	mmol/l	5-50	23-27	24-29
PO <sub>2</sub>	mmHg	5-800	80-105	

**Tabelle 1 gemessene Werte der EG7+ Kartusche und deren Referenzbereiche**



### Berechnete Werte:

ANALYSE	MASSEINHEIT	MESSBE- REICH	REFERENZBEREICH	
			(arteriell)	(venös)
Hämoglobin	g/dl	3-26	12-17	12-17
TCO <sub>2</sub>	mmol/l	1-85	23-27	24-29
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mmol/l	1-85	22-26	23-28
Basenüberschus	mmol/l	(-30) - (+30)	(-2)-(+2)	(-2)-(+2)
Anionenlücke	mmol/l	(-10) -(+99)	10-20	10-20
sO <sub>2</sub>	%	0-100	95-98	

**Tabelle 2: berechnete Werte der EG7+ Kartusche und deren Referenzbereiche**



**Abbildung 3: Drucker, Blutgasanalysegerät und Kartusche EG 7+ (v.l.n.r.)**

### **2.4.5 Arteriell Messsystem**

Das arterielle Messsystem (Medex, smith medical, Ohio/USA) entsprach vom Aufbau her einem Infusionsbesteck, war jedoch zusätzlich mit einem

Druckwandler ausgestattet, der das eingehende mechanische Signal in ein elektronisches umwandelt. Dieses elektronische Signal wurde dann auf dem EKG-Monitor als Kurve und als absoluter Wert dargestellt.

#### 2.4.6 Katheter zur arteriellen Punktion

Die nachfolgenden Katheter standen für die arterielle Punktion zur Verfügung. Der Leader-Cath<sup>®</sup> (Vygon, Ecoen/Frankreich) war ein transparenter röntgenkontrastgebender Katheter aus druckfestem Polyethylen zur Punktion der A. radialis. Das Katheter-Set bestand aus Katheter (Länge 8cm, 20G), Einführkanüle, Sicherheitsguide mit gerader, flexibler Spitze und einer Zuleitung.



**Abbildung 4: Leader-Cath**

Der Careflow<sup>®</sup> -Katheter (BD Becton Dickinson, New Jersey/USA) war ein röntgenkontrastgebender Katheter aus Polyurethan. Er konnte als arterieller Katheter für A. radialis und A. femoralis verwendet werden. Er stand in den Größen 4 French und 3 French (Länge 200mm) zur Verfügung.



**Abbildung 5: Careflow-Katheterset**

Die FloSwitch®-Kanüle (BD Becton Dickinson, New Jersey/USA) entsprach im Aufbau grundsätzlich einer Venenverweilkanüle und bestand aus zwei Teilen:

- Katheter und Katheter-Ansatzstück mit rotem Daumenschieber
- Nadel, Ansatzstück mit Griffplatte und Rückflusskammer

Die FloSwitch ®-Kanüle wurde aus Polytetrafluorethylen hergestellt, wobei sich dieses Material durch hohe Biokompatibilität, Widerstandsfähigkeit sowie niedrige Thrombogenität auszeichnet. Außerdem war die Kanüle PVC- und latexfrei.



**Abbildung 6: FloSwitch-Kanüle**

## Übersicht des benötigten Materials

- arterielle Kanüle/Kathetersystem
- luftblasenfreies Medex-Messsystem
- Druckbeutel
- Spüllösung (NaCl 0,9% 250ml oder 500ml ohne Heparinzusatz)
- Hautdesinfektionsmittel
- Sterile Kompressen
- Sterile Handschuhe, steriles Abdecktuch bei Punktion nach Seldinger
- Annaht bei Kathetersystemen
- Verbandmittel (steriles Pflaster, rote Pflasterrolle)
- Druckkabel zur Datenübertragung vom Transducer auf das EKG-Gerät
- Druckdom (Halterung) zur Befestigung des Transducers in Herzhöhe

## 2.5 Personal

Die Daten wurden von dem Dienst habenden Notarzt auf dem jeweils eingesetzten NEF erhoben. Unterstützt wurden sie dabei von Rettungsdienstpersonal. Alle Notärzte waren Ärzte vom Universitätsklinikum Gießen und Marburg, Standort Marburg, und gehörten den Fachrichtungen Anästhesie, Unfallchirurgie und Innere Medizin an.

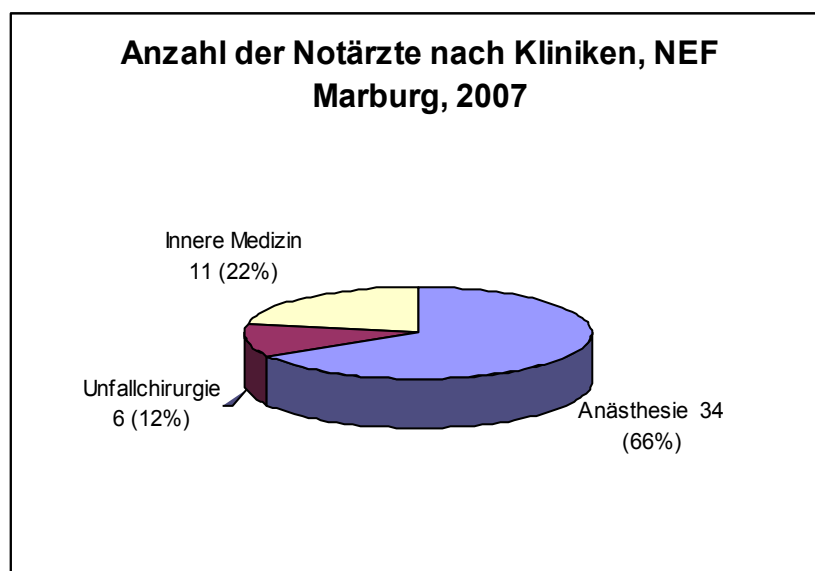
## 2.6 Durchführung

Die Datenerhebung erfolgte an den drei Notarzteinsatzfahrzeugstandorten des DRK Rettungsdienst Mittelhessen im Landkreis Marburg Biedenkopf. Zuerst wurde die Studie in Wolfgruben, anschließend in Kirchhain und Marburg durchgeführt. Die Rotation über die drei Standorte wurde bewusst gewählt, um so viele Mitarbeiter wie möglich mit dem System vertraut zu machen.

Die drei NEF stellten die notärztliche Versorgung des Landkreises Marburg-Biedenkopf sicher. Insgesamt leisteten die drei beteiligten Notarzteinsatzfahrzeuge „NEF Ost“ (Rettungswache Kirchhain, Rotkreuz

Mittelhessen 92/82), „NEF Mitte“ (Rettungswache Marburg Süd / Am Krekel, Rotkreuz Mittelhessen 95/82) und „NEF West“ (Rettungswache Wolfgruben, Rotkreuz Mittelhessen 94/82) über 4500 Einsätze pro Jahr. Die Alarmierung der NEF erfolgte über die Zentrale-Leitstelle des Landkreis Marburg - Biedenkopf. Vorgehalten wurden die Rettungsmittel rund um die Uhr, 365 Tage im Jahr.

Das Notarztsystem im Landkreis Marburg - Biedenkopf war nach dem so genannten Rendezvous-System organisiert. Bei einem Notfall, der dringende ärztliche Hilfe schon vor Ort benötigt (z.B. Herzinfarkt, Schlaganfall, Verkehrsunfall), wurde zusätzlich zu einem Rettungstransportwagen (RTW) eines der drei im Landkreis stationierten Notarzteinsetzfahrzeuge (NEF) zur Einsatzstelle beordert. Falls erforderlich, wurden lebensrettende Sofortmaßnahmen, eine ärztliche Behandlung oder ein Transport des Patienten im RTW in ein geeignetes Krankenhaus durch den Notarzt durchgeführt. War eine ärztliche Transportbegleitung nicht notwendig, konnte das NEF sofort zu einem weiteren Notfall geschickt werden. Diese deutlich erhöhte Flexibilität des Systems spiegelte sich auch in den gestiegenen Einsatzzahlen der letzten Jahre wieder.



**Abbildung 7: Anzahl der Notärzte aus den einzelnen Kliniken im Jahr 2007**

Im Rahmen der Vorbereitung wurde für die Notärzte und das Rettungsdienstpersonal eine Informationsveranstaltung durchgeführt, um die Studie vorzustellen. Weiterhin wurden nach dem Medizinproduktegesetz (MPG)

alle beteiligten Mitarbeiter auf das EKG mit invasiver Blutdruckmessung und das Blutgasanalysegerät eingewiesen. Auf den beteiligten Rettungswachen wurde ständig Übungsmaterial vorgehalten, damit immer wieder das Aufbauen des Messsystems geübt werden konnten. Auf den Wachen wurde ein Ordner hinterlegt, in dem alle Arbeitsschritte einzeln mit Bildern und schriftlichen Arbeitsanweisungen illustriert worden sind. So konnten die Mitarbeiter jederzeit die einzelnen Aufbauschritte nachschlagen. Die notwendigen Ausrüstungsgegenstände wurden ständig auf dem NEF in einer separaten Tasche mitgeführt.



**Abbildung 8: Material zur invasiven Blutdruckmessung und Blutgasanalyse auf dem NEF**

Für die Dokumentation der im Einsatz erhobenen Daten wurde ein Protokoll erstellt. Folgende Daten wurden damit erhoben:

- Laufende Nummer des Studienpatienten
- Datum des Einsatzes
- Leitstellennummer
- Geschlecht
- NACA-Score
- Erstdiagnose des Notarztes
- Alter des Patienten

- Maßnahmen des Rettungsdienstes vor Anlage der invasiven Messung (z.B. Gabe von Blutdruck beeinflussenden Medikamenten)
- Punktionsort und verwendetes Punktionsmaterial
- Invasive und non-invasive Blutdruckwerte
- Startzeit der invasiven Messung
- Sauerstoffgabe in Liter pro Minute
- Atemminutenvolumen
- Endtidales CO<sub>2</sub> in mmHg
- pCO<sub>2</sub>
- Sauerstoffsättigung
- Atemfrequenz pro Minute
- Herzfrequenz pro Minute

Alle Patienten, die die Einschlusskriterien erfüllten, erhielten am Notfallort einen arteriellen Zugang. Dazu standen die FloSwitch-Kanüle, ein Katheterset mit Seldinger-Draht und herkömmliche Venenverweilkanülen zur Verfügung. Bevorzugt wurden die A. radialis und die A. femoralis. Das Spülsystem und der Druckaufnehmer wurden durch das Rettungsdienstpersonal, meist den Rettungsassistenten des NEF, vorbereitet. Nach Verbindung des Schlauchsystems an die arterielle Kanüle und anschließendem Nullabgleich wurden die Messwerte erhoben. Es konnte jedes der Besatzungsmitglieder die non-invasive Messung durchführen und den invasiven Wert ablesen. Dabei gab es zwei Möglichkeiten: Ein Besatzungsmitglied hat den non-invasiven manuellen Blutdruck bestimmt, ohne Einblick auf den Monitor mit der invasiven Blutdruckmessung zu haben. Danach erst wurde der invasive Wert abgelesen und beide Werte auf dem Studienprotokoll dokumentiert. Bei der anderen Möglichkeit wurde die Datenerhebung von zwei verschiedenen Personen durchgeführt, wobei der eine den non-invasiven Wert bestimmte, ohne den invasiven zu kennen und der andere den invasiven Wert ablas. Falls der non-invasive Blutdruck nicht zu bestimmen war, wurde im Studienprotokoll „nicht messbar“ eingetragen. Der non-invasive Blutdruck konnte entweder palpatorisch (nur systolischer Wert) oder durch Auskultation bestimmt werden. Das Messintervall bei der non-invasiven Blutdruckmessung betrug fünf Minuten. Die Entscheidung, bei Notfallpatienten die arterielle Kanülierung vorzunehmen,

traf allein der behandelnde Notarzt. Hat sich der Notarzt auf Grund von Messwerten der invasiven Blutdruckmessung oder der Messwerte aus der Blutgasanalyse dazu entschlossen eine therapeutische Maßnahme durchzuführen, so wurde dies im Protokoll vermerkt.

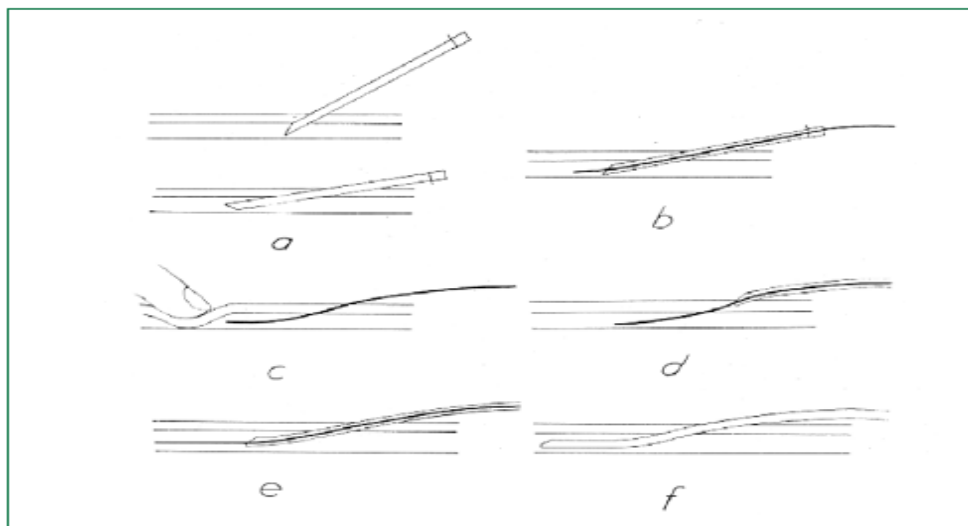
Nach Anlage der Kanüle zur invasiven Blutdruckmessung wurde der non-invasive Blutdruck alle fünf Minuten gemessen und zusammen mit dem abgelesenen invasiven Wert dokumentiert. Den Zeitpunkt der ersten Messwerterhebung haben wir als „T1“ definiert, den letzten Messwert als „T End“. Die Entnahme der Blutprobe für die Blutgasanalyse erfolgte aus der liegenden arteriellen Kanüle. Zur Vermeidung von Verdünnungsfehlern wurde zuerst eine 2ml Spritze am patientennahen 3-Wege-Hahn mit Blut gefüllt und verworfen. Erst dann wurde die eigentliche Probe mit einer 1ml Spritze entnommen. Danach wurde das System gespült und auf dem Monitor stellte sich dabei eine entsprechende Spülkurve dar. Für die Durchführung einer Analyse entnahm man die aufgewärmten Kartuschen aus der versiegelten Schutzhülle und füllte die verwendeten EG7+ Kartuschen mit ca. drei Tropfen Blut (95 Mikroliter) aus einer Spritze in die Probenschale. Dann schloss man die Kartusche mit dem Druckverschluss und schob sie in den Analysator ein. Durch das Einschieben der Kartusche wurde der Analysator aktiviert. Die verschiedenen Schritte des Analysezyklus einschließlich des Transfers der Flüssigkeiten innerhalb der Kartusche, der Kalibrierung und der Erwärmung der Sensoren auf 37° C liefen automatisch ab. Während des Analysezyklus konnten neben Anwender- und Patientennummer auch die Blutgasparameter eingegeben werden. Dazu gehörten die Patiententemperatur,  $\text{FiO}_2$  und Art der Probe (arteriell oder venös). Nach 120 Sekunden konnte das Messergebnis auf dem Display abgelesen werden, welches als Datensatz im Gerät abgespeichert wurde. Die Ergebnisse wurden in Form von Konzentrationswerten angezeigt und gleichzeitig wurde ein Balkendiagramm eingeblendet, anhand dessen der gemessene Wert mit dem jeweiligen Referenzintervall verglichen werden konnte. Für Blutgaswerte wurden keine Referenzwerte angezeigt. Das jeweilige Referenzintervall war auf dem Balkendiagramm durch eine Strichmarkierung gekennzeichnet. Anhand der Balkendiagramme konnte man auf einen Blick zwischen normalen und pathologischen Werten unterscheiden. Als Blutproben wurde arterielles Vollblut verwendet. Die Blutentnahme erfolgte mit 1ml Spritzen



ohne Antikoagulans, deshalb musste die Probe innerhalb von drei Minuten analysiert werden. Bei den Studienpatienten sollte bei Anlage der Arterie und dann alle 15 Minuten Proben zur Blutgasanalyse entnommen werden. Die Ergebnisse wurden ausgedruckt und dem Studienprotokoll angeheftet. Weiterhin wurden bei beatmeten Patienten die eingestellten Parameter am Beatmungsgerät abgelesen und protokolliert. Vom EKG Monitor wurde das endtidale Kohlendioxid ebenfalls dokumentiert, damit dieses mit dem  $\text{PaCO}_2$  verglichen werden konnte.

### 2.6.1 Technik der arteriellen Punktion

Die Seldinger-Technik oder Seldinger-Methode, ist ein Verfahren zum Einbringen von Kathetern in Gefäße. Sie wurde 1953 von dem schwedischen Radiologen Sven-Ivar Seldinger (\*19. April 1921, † 21. Februar 1998) entwickelt, um Angiographie-Katheter in Blutgefäße einzubringen. Die Technik der Kathetereinführung veranschaulicht die folgende Grafik:



**Abbildung 9: Seldinger-Technik [47]**

- Die Arterie wird punktiert und die Kanüle abgeflacht.
- Der Führungsdraht wird durch die Kanüle eingeführt.
- Die Arterie wird komprimiert und der Katheter entfernt.

- d. Der Katheter wird über den Führungsdraht geschoben.
- e. Der Führungsdraht wird entfernt.
- f. Der Katheter liegt in der Arterie.

### **2.6.2 Direkte Punktion der Arterie mit FloSwitch®**

- Zunächst erfolgt die Desinfektion der Punktionsstelle.
- Palpation der A. radialis im Verlauf mit der nicht punktierenden Hand.
- Die Haut wird mit der Nadel punktiert und zur Arterie vorgeschoben.
- Blut in der Rückflussskammer zeigt an, dass sich die Kanülenspitze im Gefäß befindet.
- Jetzt die Kanüle in die Arterie schieben und gleichzeitig die Nadel zurückziehen. Die Kanüle kann durch Verschieben des roten Daumenschiebers verschlossen werden.
- Durch Aspiration und Blutgasanalyse kann überprüft werden, ob die Kanüle korrekt liegt.
- Es erfolgt die Fixation und die deutliche Kennzeichnung als Arterie.

### **2.6.3 Anlage der arteriellen Leitung**

- Kochsalzlösung in den Druckbeutel einlegen
- Einstichdorn des Systems in den Kochsalzbeutel stechen
- Rollerklemme des Systems verschließen
- Alle Schraubverbindungen am System kontrollieren (Luer-Lock)
- Druckbeutel auf ca. 300mmHg aufpumpen
- System entlüften und auf Blasenfreiheit im System achten
- Transducer auf Herzhöhe positionieren und Druckkabel anschließen
- System an Kanüle anschließen
- Dreiwegehahn vom Transducer zur Atmosphäre hin öffnen
- Mittels Abgleichtaste am Monitor „nullen“
- Dreiwegehahn wieder umstellen (Verbindung herstellen zwischen Patient und Transducer)

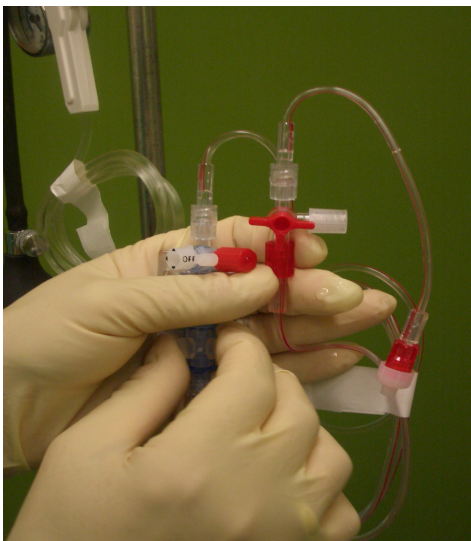
- Erneuter Nullabgleich nach allen Diskonnektionen der Druckkabel erforderlich



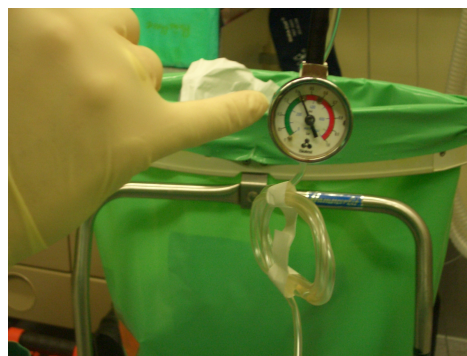
**Abbildung 10 (links): Druckbeutel mit Spüllösung**



**Abbildung 11 (rechts): Verbindung des arteriellen Messsystems mit dem Druckbeutel**



**Abbildung 12 (links): Entlüftung des Messsystems**



**Abbildung 13 (rechts): Aufpumpen des Druckbeutels auf 300mmHg**



**Abbildung 14 (links): Punktion der linken A. radialis unter Palpation**



**Abbildung 15 (rechts): Bei Punktion der Arterie fließt Blut in die Kanüle**



**Abbildung 16 (links): Punktion der Arteria radialis**



**Abbildung 17 (rechts): Überprüfung der intraarteriellen Lage**

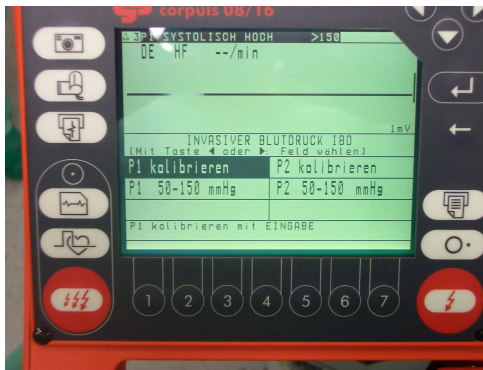


**Abbildung 18 (links): Herausnahme des Stahlmandrins. Pulsierendes Blut zeigt die arterielle Lage an**

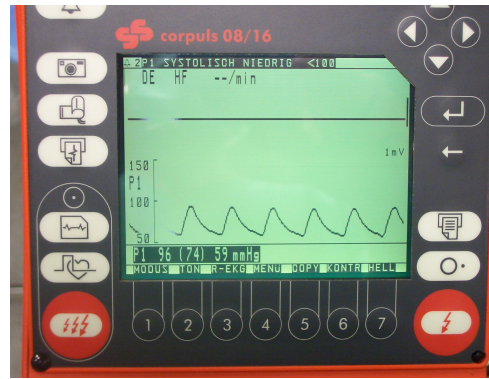


**Abbildung 19 (rechts): Fertige Anlage des arteriellen Zugangs**

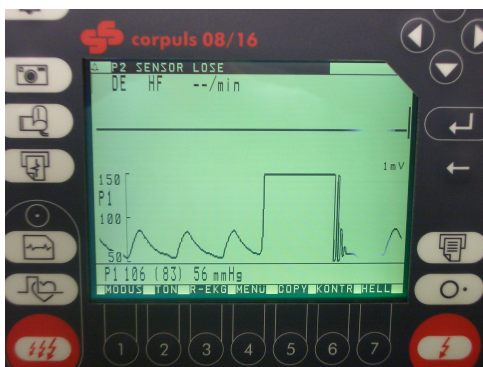




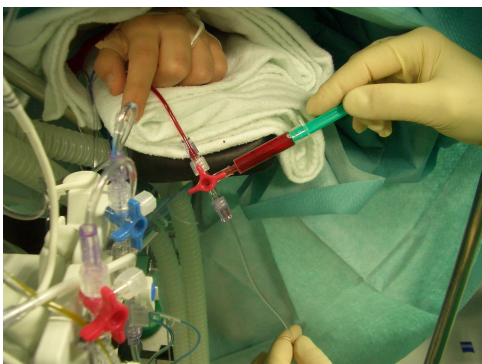
**Abbildung 20 (links): Kalibrierung des Gerätes**



**Abbildung 21 (rechts): Arterielle Messkurve**



**Abbildung 22: Spülkurve**



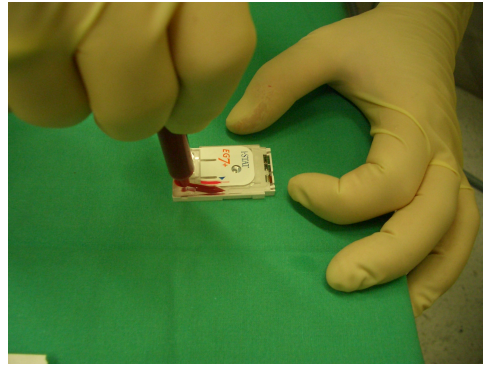
**Abbildung 23 (links): Entnahme einer Probe für die Blutgasanalyse**



**Abbildung 24 (rechts): Spülen der arteriellen Leitung mit NaCl**



**Abbildung 25 (links): Vorbereitung der Kartusche**



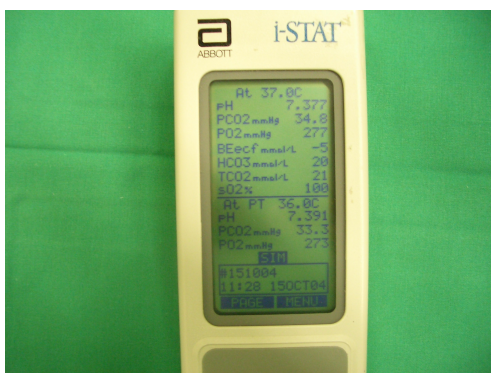
**Abbildung 26 (rechts): Befüllung der Kartusche mit der Blutprobe**



**Abbildung 27 (links): Verschliessen der Kartusche**



**Abbildung 28 (rechts): Einführung der Kartusche ins BGA Gerät**



**Abbildung 29: Das BGA Gerät zeigt die Messergebnisse an**

## 2.7 Studiendesign

Als Studiendesign wurde eine prospektive klinische Studie im Sinne einer Anwendungsbeobachtung und Machbarkeitsstudie gewählt. Die Daten wurden

anhand standardisierter Dokumentationsprotokolle erfasst und ausgewertet. Nach der Genehmigung durch die Ethikkommission (AZ: Studie 111/03) wurde die Datenerhebung vom 01.05.2004 bis zum 1.11.2007 durchgeführt.

## 2.8 Statistische Auswertung

Die Daten wurden unmittelbar nach Erhebung in Microsoft-Excel Tabellen übertragen. Die statistischen Auswertungen erfolgten mit der Statistiksoftware SPSS Version 19.0 für Microsoft Windows (SPSS Inc., Illinois/USA) verwendet. Bei der Auswertung der Studie wurden hauptsächlich die Methoden der deskriptiven Statistik verwendet.

Es wurden zwei graphische Methoden verwendet: Streudiagramme, in die eine Ideallinie zur Verdeutlichung des linearen Zusammenhangs eingezeichnet wurde und der Bland-Altman-Plot.

Jeder Punkt in einem Streudiagramm stellte einen Patienten dar, wobei auf der X-Achse die Messung mit dem Goldstandard (IBP bzw.  $\text{PaCO}_2$ ) dargestellt wurde und auf der Y-Achse die andere Messmethode (NIBP bzw.  $\text{etCO}_2$ ).

Das einfache und anschauliche Verfahren nach Bland und Altman hat sich zum Verfahren der Wahl beim Vergleich von zwei Messmethoden bzw. Methodenvergleichsdaten etabliert [4, 44]. Die Relevanz der Methode nach Bland und Altman zeigt sich darin, dass die Arbeit aus dem Lancet zu den zehn meist zitierten statistischen Arbeiten gehört. Dafür wurden für jeden Patienten die Mittelwerte und Differenzen der beiden zu vergleichenden Messmethoden berechnet. In einem Koordinatensystem wurden dann die Mittelwerte der beiden zu vergleichenden Messmethoden auf der X-Achse und die Differenzen auf der Y-Achse abgetragen. Um die "limits of agreement" zu konstruieren, wurde die Standardabweichung der Messwertdifferenzen „s“ berechnet. Die Grenzen ergaben sich dann als Mittelwert der Differenzen „+2s“ und Mittelwert der Differenzen „-2s“ [3].

Zur Analyse des Ausmaßes des linearen Zusammenhangs zwischen den beiden Messmethoden, die miteinander verglichen wurden, wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient „r“ berechnet. Der Korrelationskoeffizient ist eine

dimensionslose Größe, die Werte zwischen  $-1$  und  $+1$  annehmen kann. Der Wert  $+1$  zeigt einen perfekten Zusammenhang zwischen den in die Berechnung einbezogenen Variablen (Messmethoden). Ein positiver Korrelationskoeffizient bedeutet ein Einhergehen von hohen Werten der einen Variablen mit hohen Werten der anderen Variablen. Ein gegenläufiger Zusammenhang – hohe Werte der einen Variablen gehen mit niedrigen Werten der andern Variablen einher – würde durch einen negativen Korrelationskoeffizient ausgedrückt werden. Ein Korrelationskoeffizient nahe Null drückt aus, dass die Messwerte einen weniger ausgeprägten oder keinen Zusammenhang haben.

Um die Nullhypothese zu prüfen, dass die beiden Variablen, deren linearer Zusammenhang durch den Stichprobenkorrelationskoeffizienten beschrieben wurde, in der Grundgesamtheit unabhängig voneinander sind, wurde ein t-Test auf Korrelation durchgeführt. Dieser Test basierte auf der Prüfgröße:

$$t = r \cdot \sqrt{n-2} / \sqrt{1-r^2}.$$

Diese hat eine t-Verteilung mit  $n-2$  Freiheitsgraden. Falls  $|t|$  größer als das 95%-Quantil der t-Verteilung mit  $n-2$  Freiheitsgraden ist, bezeichnet man die Korrelation als signifikant. In diesem Fall erhält man einen p-Wert  $< 0,05$ .



### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Geschlecht, Alter und Altersverteilung

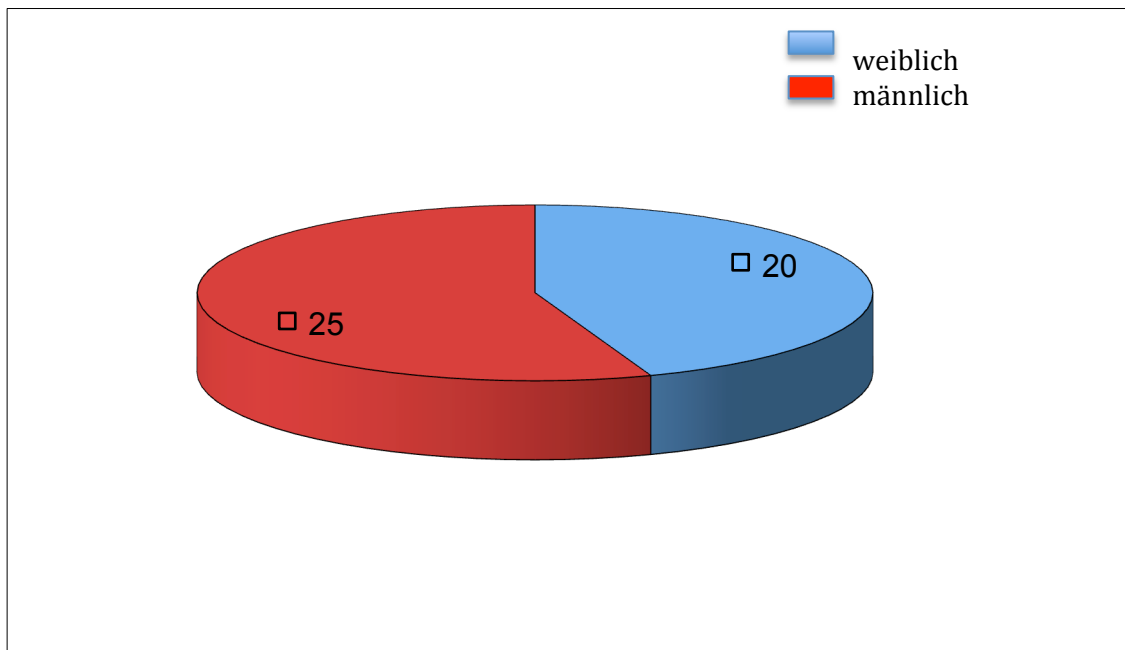


Abbildung 30: Geschlechterverteilung

Insgesamt wurden 45 Patienten in die Studie eingeschlossen. Bei allen ausgewerteten Studienprotokollen fanden sich Angaben zum Geschlecht der Patienten. Im Studienkollektiv überwiegt das männliche mit 25 Patienten (55,6%) dem weiblichen Geschlecht mit 20 Patienten (44,4%).

Bei allen Studienpatienten lag eine Dokumentation des Alters vor. In der Altersgruppe bis 30 Jahre wurden zwei Patienten (4,4%) behandelt. Für die Altersgruppe der 31 bis 50-jährigen ergab sich ein Anteil von acht Patienten (17,8%). Die Altersgruppe von 51 bis 70 Jahre war mit 12 Patienten (26,7%) vertreten. Über 70 Jahre waren 23 Patienten (51,1%) und damit auch die größte Patientengruppe.

Damit überwog der Anteil der über 50 jährigen deutlich mit 77,8%, während Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene bis 30 Jahre nur einen geringeren Teil ausmachten (4,4%).

Das Alter der Studienpatienten lag durchschnittlich bei  $67 \pm 18$  Jahre (MW  $\pm$  SD).

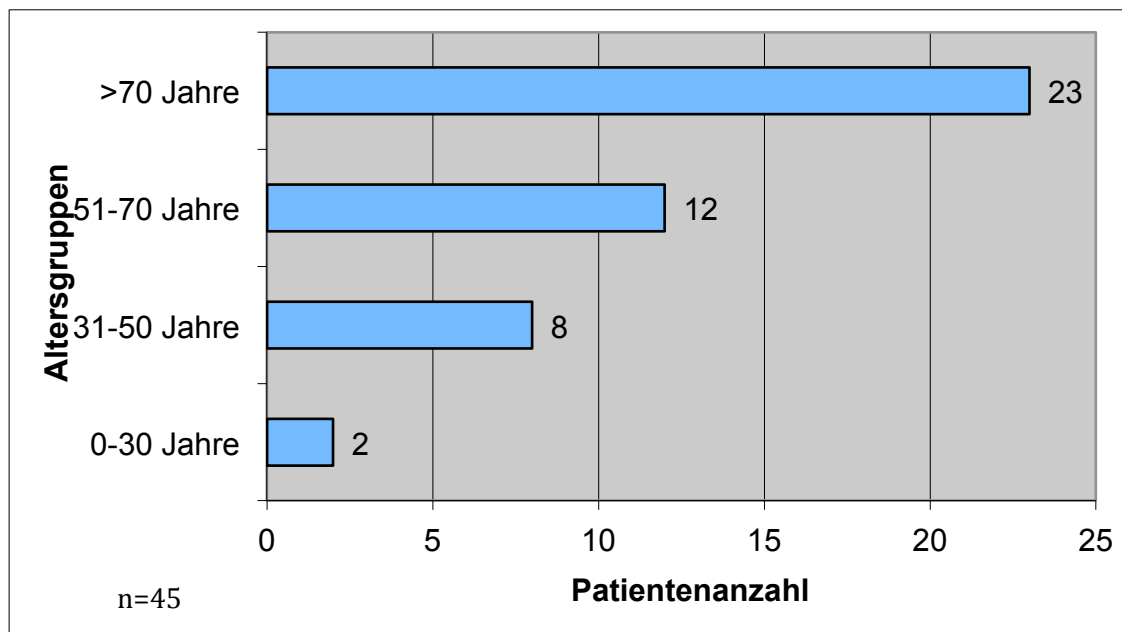


Abbildung 31: Altersverteilung

### 3.2 Diagnosen

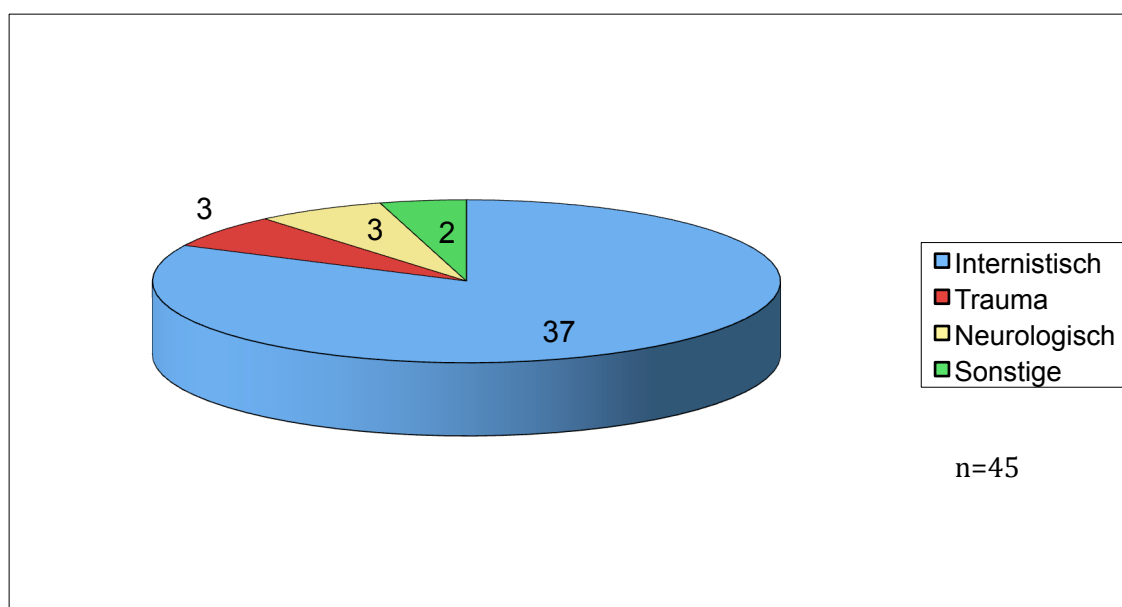
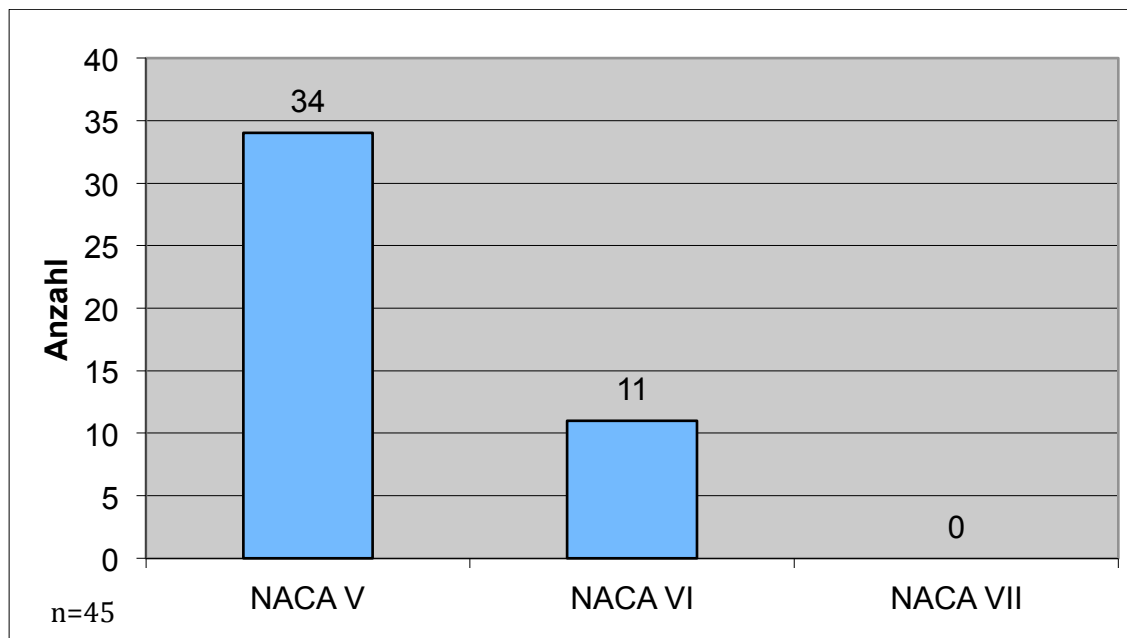


Abbildung 32: Diagnosen

Die Grafik zeigt die Verteilung der vier Diagnosekategorien – internistisch, traumatologisch, neurologisch und sonstige. Diese sind im DIVI-Notarzt-

Protokoll nicht explizit angegeben. Sie wurden bei der Auswertung der Studienprotokolle anhand der Diagnosen nachträglich erstellt. Internistische Diagnosen wurden in 37 Fällen (82,2%) gestellt. Danach kommen als zweithäufigste Diagnosen die traumatischen und neurologischen Notfälle mit jeweils drei Patienten (6,7%). Sonstige Notfälle wurden bei zwei Patienten (4,4%) dokumentiert.

Die Notfallpatienten waren vom Notarzt in NACA V bis VII einzuordnen gewesen. NACA I bis IV kamen in den Studienprotokollen nicht vor, da das Einschlusskriterium mindestens NACA V vorsah.

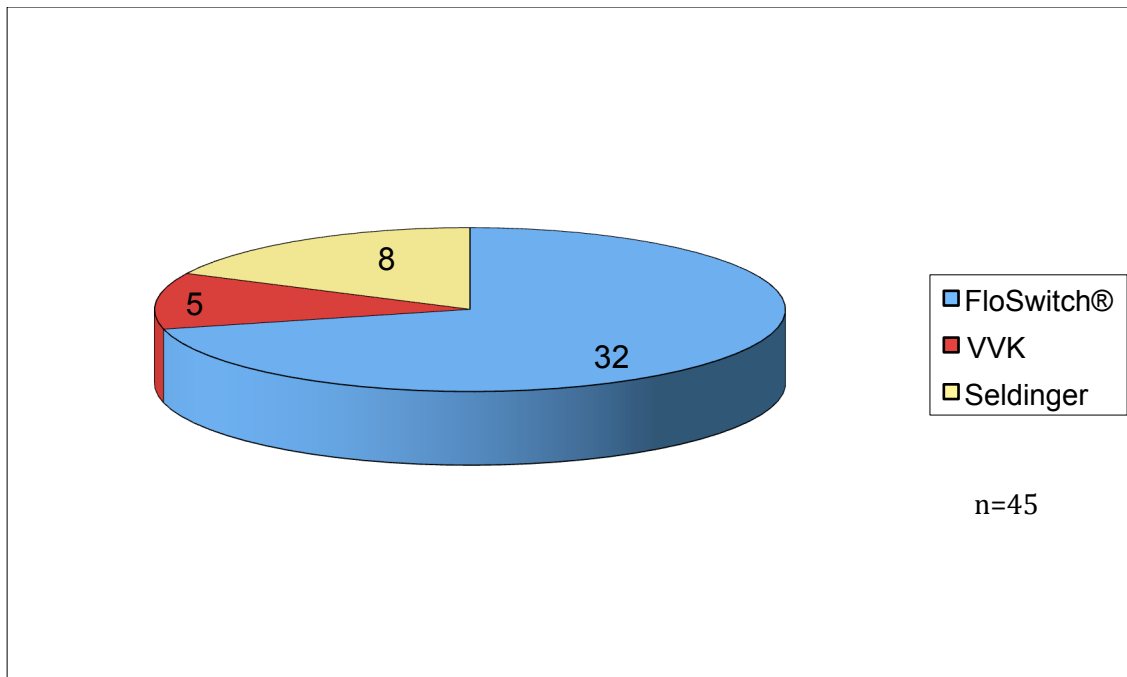


**Abbildung 33 Einteilung der Patienten nach NACA-Score**

Von Insgesamt 45 Studienpatienten waren 34 Patienten (75,6%) NACA-Score V zugeordnet worden. Patienten mit NACA VI wurden elf mal (24,4%) protokolliert. Mit einem NACA-Score von VII war kein Patient (0%) klassifiziert worden. Der durchschnittliche NACA-Score lag bei 5,2.

### 3.3 Invasive Blutdruckmessung

#### 3.3.1 Punktionsorte und -techniken



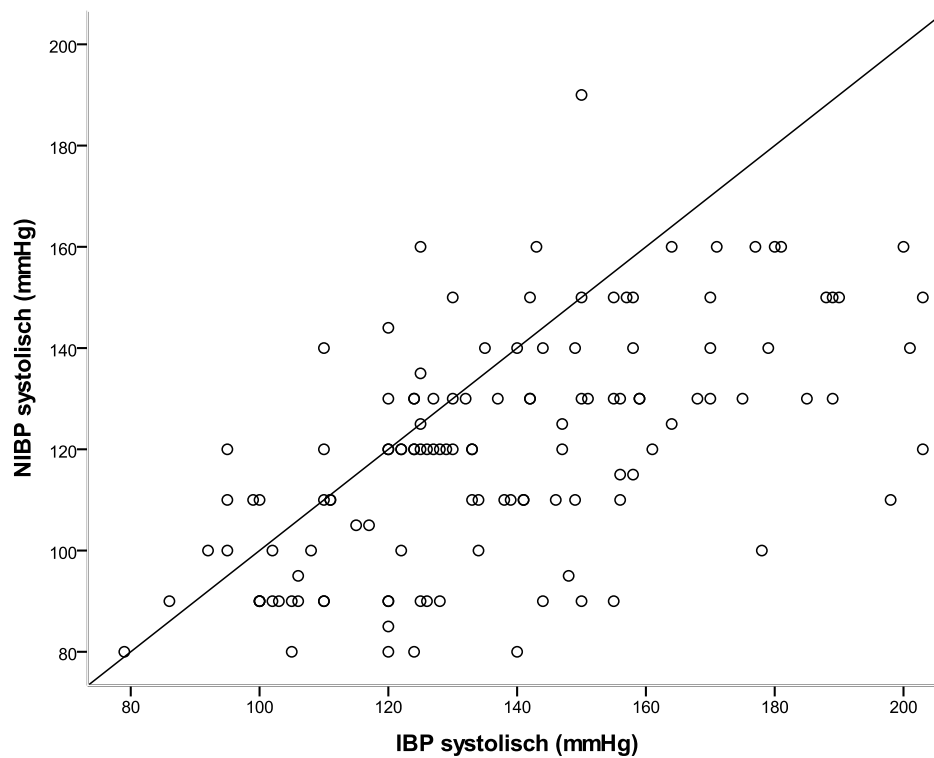
**Abbildung 34: Übersicht über die verwendete Kanüle zur arteriellen Punktion**

Im Patientenkollektiv wurde von den behandelnden Notärzten 32 Mal (71,1%) die arterielle Kanülierung mit der FloSwitch® Kanüle vorgenommen. Bei acht Patienten (17,8%) wurde ein Katheter in die Arterie nach Seldinger-Technik eingebracht. Eine Venenverweilkanüle wurde bei fünf Patienten (11,1%) verwendet. Es wurde bei allen Studienpatienten die A. radialis zur arteriellen Punktion verwendet (100%).

#### 3.3.2 Übersicht der Messwerte

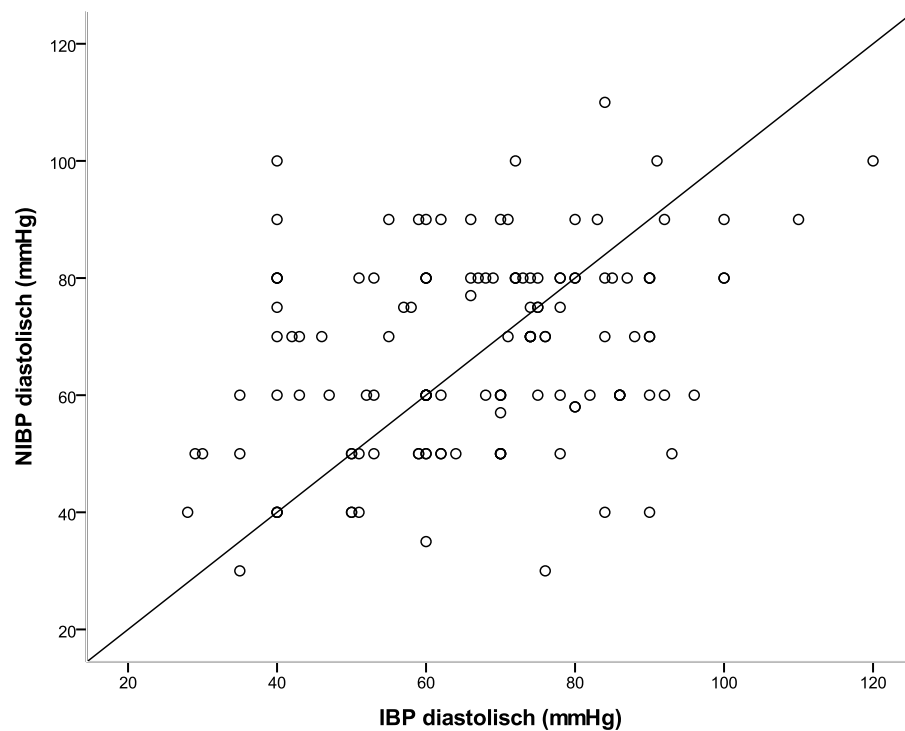
Bei 45 Studienpatienten wurden 229 Messpaare der invasiven und non-invasiven Blutdruckmessung dokumentiert, das heißt durchschnittlich fünf pro Patient. Bei diesen vorliegenden 229 Messpaaren konnte immer der invasive systolische und diastolische Wert bestimmt werden. In der Vergleichsmessung konnte hier in 80 Fällen (34,9%) kein non-invasiver manueller Blutdruck gemessen werden. Bei weiteren 15 (6,6%) Messpaaren konnte bei der non-invasiven Blutdruckmessung nur der systolische, nicht aber der diastolische

Wert manuell gemessen werden. Somit wurden insgesamt bei 134 Messpaaren der systolische und diastolische Blutdruck im Rahmen der vergleichenden Messung von invasiver und non-invasiver Blutdruckmessung bestimmt.



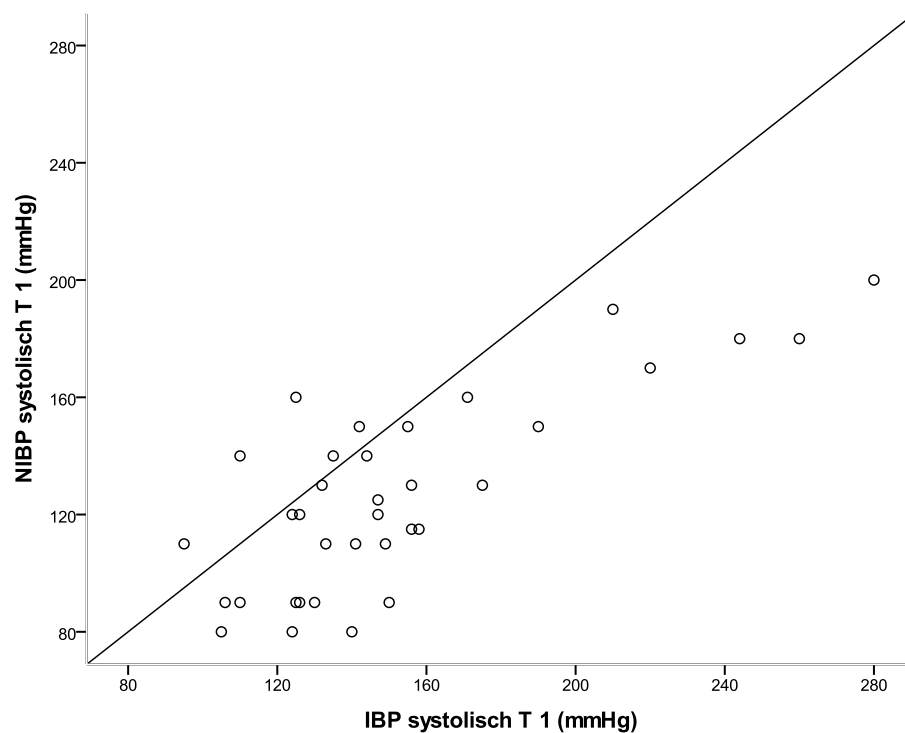
**Abbildung 35: Streudiagramm mit allen systolischen Messwerten von IBP und NIBP**

Auf der Winkelhalbierenden ist der systolische invasive Blutdruck gleich dem systolischen non-invasiven Blutdruck. Sie stellt die Ideallinie dar. Der Korrelationskoeffizient ist 0,665 und höchst signifikant von Null verschieden ( $p < 0,0001$ ).



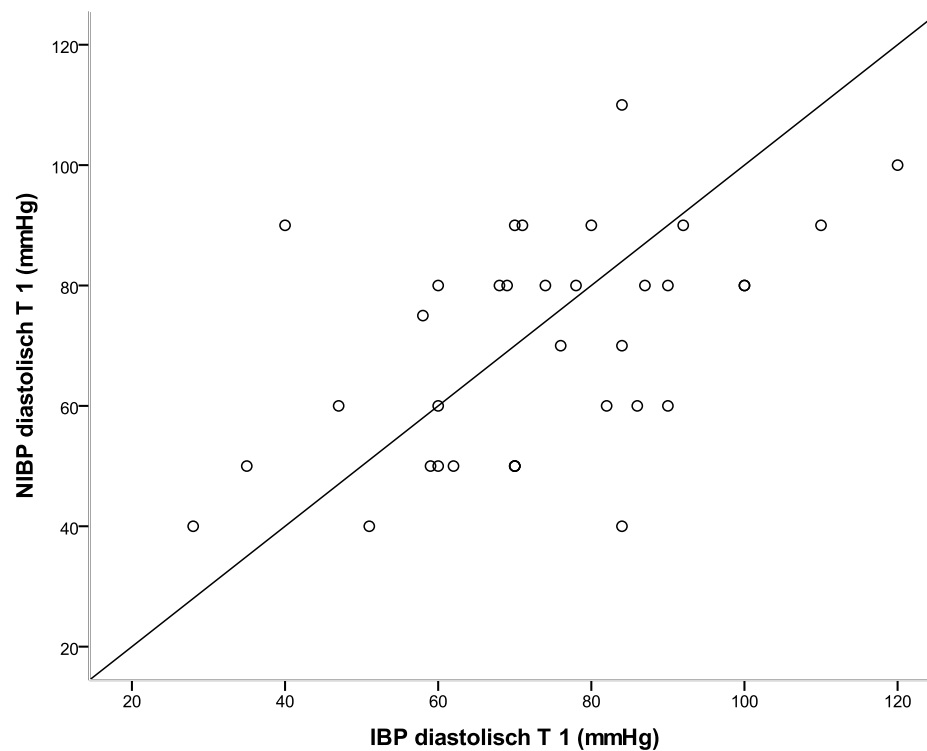
**Abbildung 36: Streudiagramm mit allen diastolischen Messwerten von IBP und NIBP**

Die Winkelhalbierende stellt die Ideallinie dar, d.h. hier ist IBP diastolisch = NIBP diastolisch. Der Korrelationskoeffizient ist 0,328.



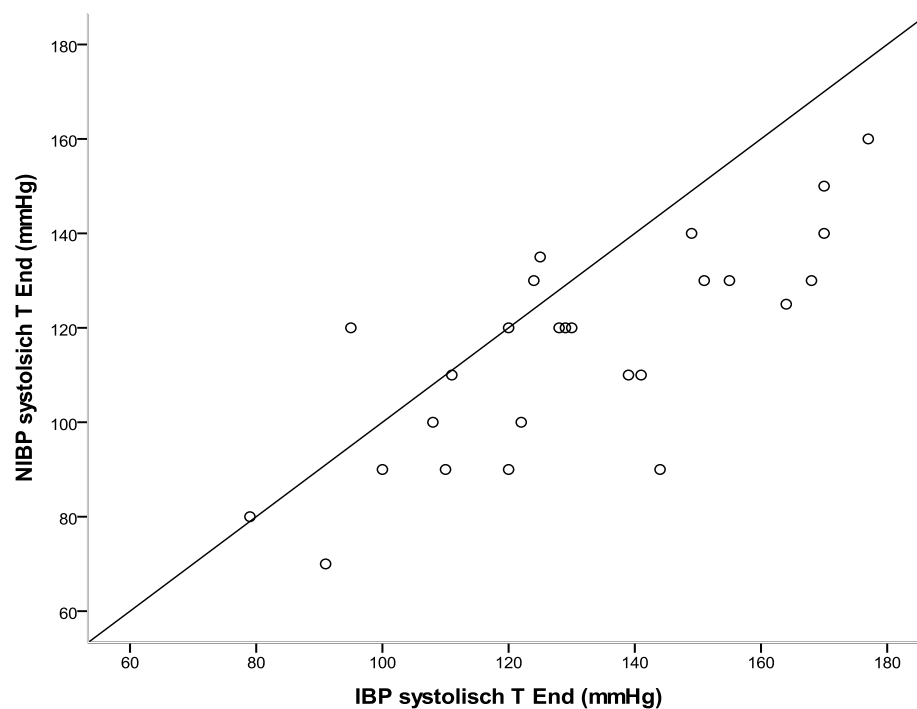
**Abbildung 37: Streudiagramm mit systolischem IBP und NIBP zum Zeitpunkt T 1**

Die Winkelhalbierende stellt die Ideallinie dar, d.h. hier ist IBP systolisch bei T 1 = NIBP systolisch bei T 1. Der Korrelationskoeffizient ist 0,776.



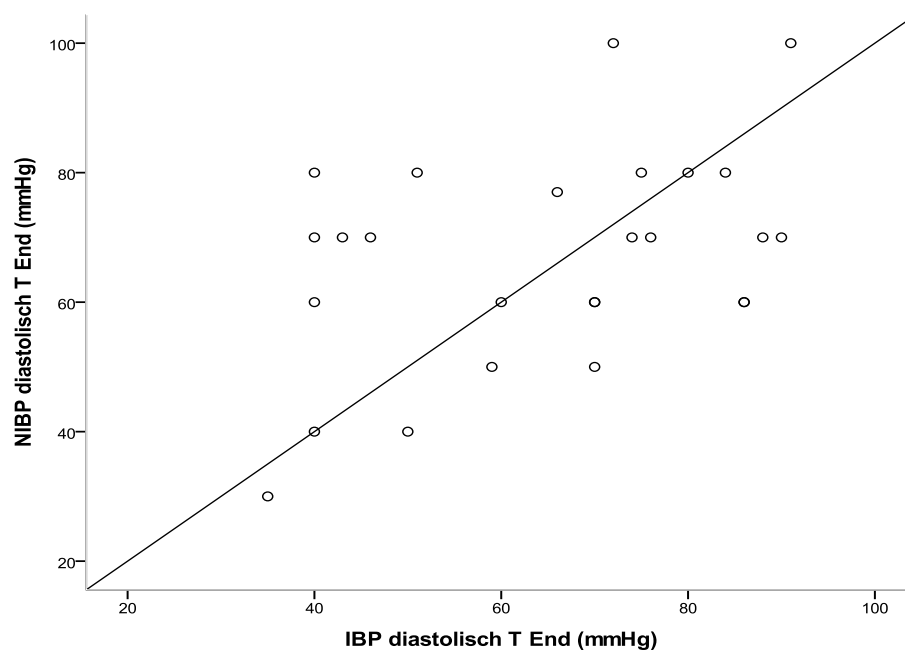
**Abbildung 38: Streudiagramm mit diastolischem IBP und NIBP zum Zeitpunkt T 1**

Die Winkelhalbierende stellt die Ideallinie dar, d.h. hier ist IBP diastolisch bei T 1 = NIBP diastolisch bei T 1. Der Korrelationskoeffizient ist 0,498.



**Abbildung 39: Streudiagramm mit systolischem IBP und NIBP zum Zeitpunkt T End**

Die Winkelhalbierende stellt die Ideallinie dar, d.h. hier ist IBP systolisch bei T End = NIBP systolisch bei T End. Der Korrelationskoeffizient ist 0,766.

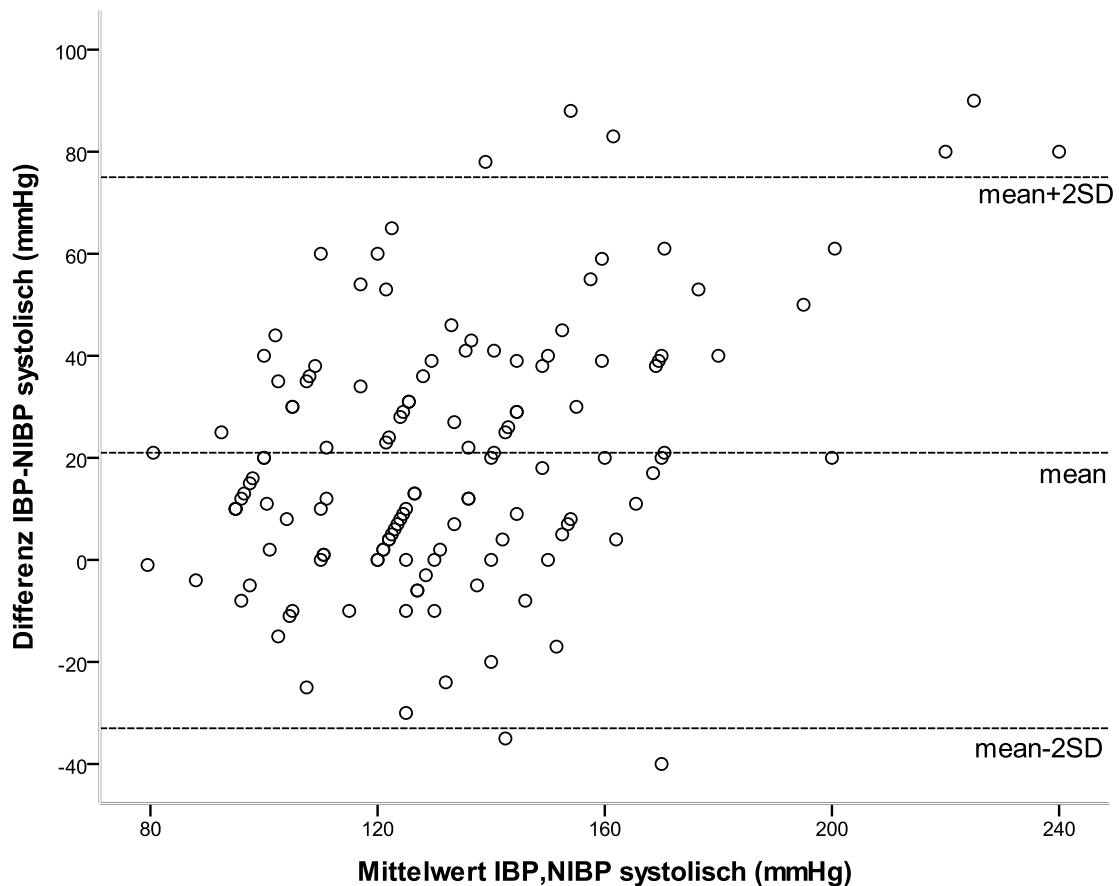


**Abbildung 40: Streudiagramm mit diastolischem IBP und NIBP zum Zeitpunkt T End**

Die Winkelhalbierende stellt die Ideallinie dar, d.h. hier ist IBP diastolisch bei T End = NIBP diastolisch bei T End. Der Korrelationskoeffizient ist 0,422.



### 3.3.3 Korrelation NIBP-IBP



**Abbildung 41: Bland-Altman-Plot für den systolischen Blutdruck aller Messpaare**

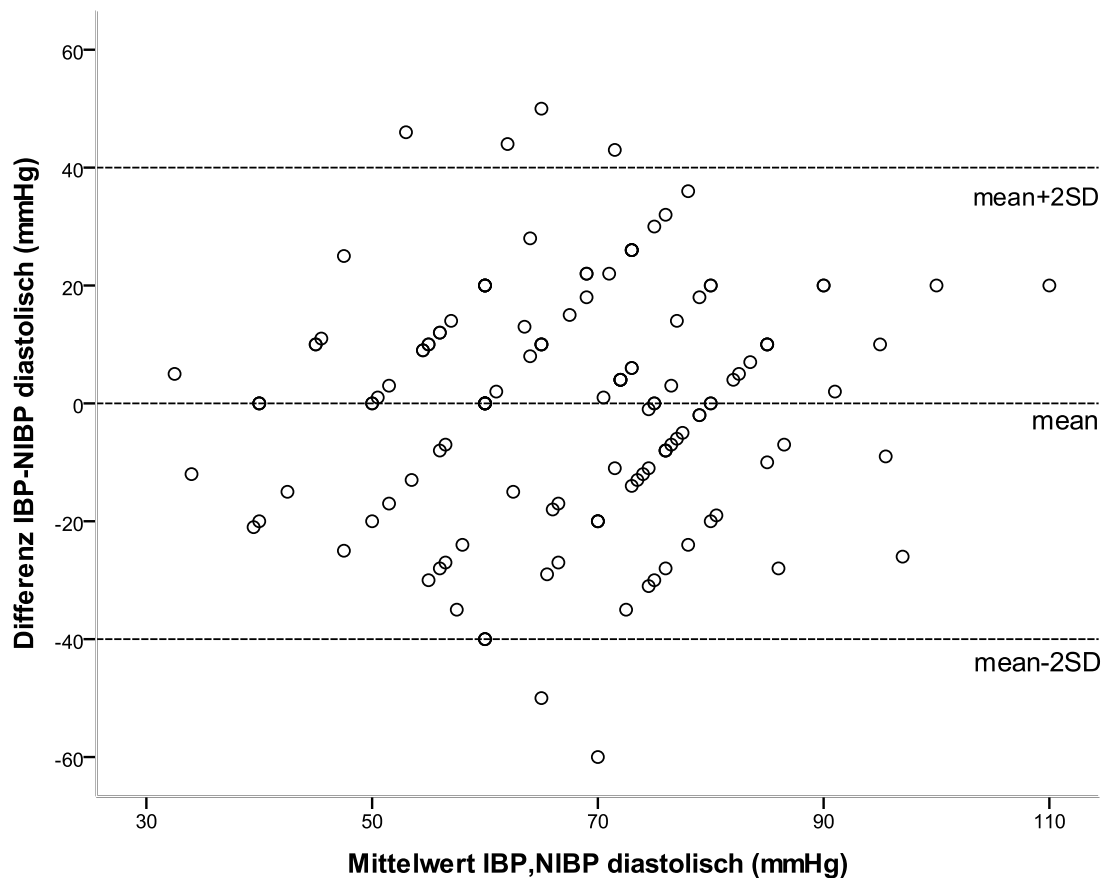
Der Bland-Altman-Plot dient zur Analyse der Übereinstimmung zwischen invasiver (IBP) und non-invasiver manueller Messung (NIBP) für den systolischen Blutdruck aller Messpaare. Die Differenz (IBP-NIBP) ist aufgetragen gegen den Mittelwert ( $(IBP+NIBP/2)$ ). Die durchschnittliche Differenz und die  $\pm 2$  SD, welche 95% der Übereinstimmung anzeigt, sind als gestrichelte Linien eingezeichnet

Der Mittelwert der Differenzen von  $IBP_{\text{systolisch}}$  und  $NIBP_{\text{systolisch}}$  ist 20,9mmHg. Die Standardabweichung der Differenzen ist 27,4mmHg. Die Übereinstimmungsgrenzen („limits of agreement“) ergeben sich wie folgt:

mean +2SD = 75,0mmHg

mean -2SD = -33,0mmHg

Das bedeutet, dass die invasive Blutdruckmessung in 95% der Fälle systolische Blutdruckwerte liefert, die bis zu 33mmHg kleiner bzw. bis zu 75mmHg größer sind als die der manuellen non-invasiven Blutdruckmessung.



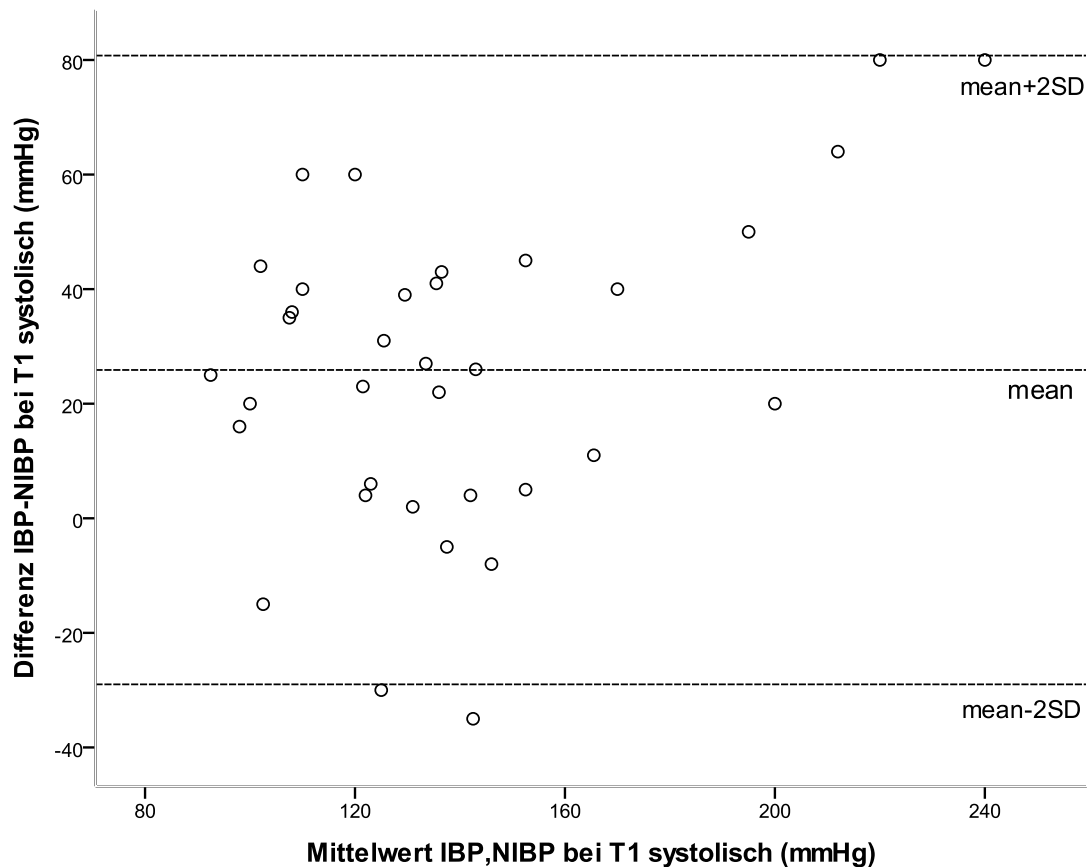
**Abbildung 42: Bland-Altman-Plot für den diastolischen Blutdruck aller Messpaare**

Der Mittelwert der Differenzen von  $IBP_{diastolisch}$  und  $NIBP_{diastolisch}$  ist -0,3mmHg. Die Standardabweichung der Differenzen ist 20,2mmHg. Die Übereinstimmungsgrenzen („limits of agreement“) ergeben sich wie folgt:

mean +2SD = 40,0mmHg

mean -2SD = -40,mmHg

Das bedeutet, dass die invasive Blutdruckmessung in 95% der Fälle diastolische Blutdruckwerte liefert, die bis zu 40mmHg kleiner bzw. bis zu 40mmHg größer sind als die der manuellen non-invasiven Blutdruckmessung.



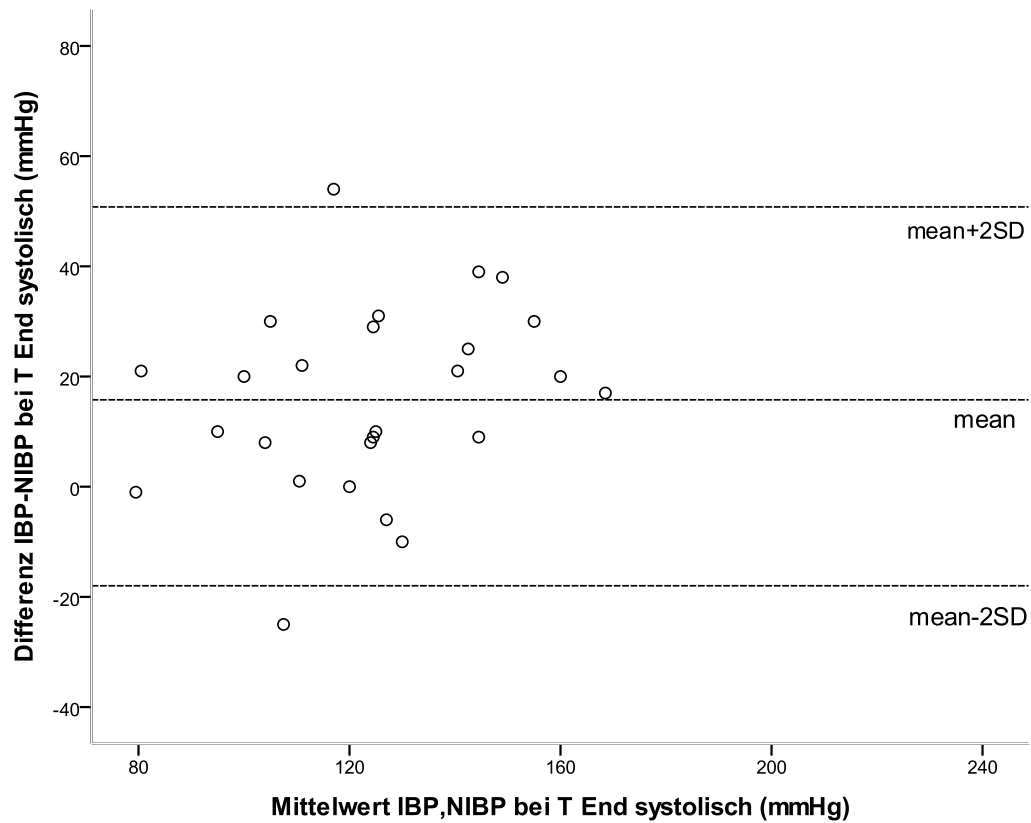
**Abbildung 43: Bland-Altman-Plot für den systolischen Blutdruck zum Messzeitpunkt T 1**

Der Mittelwert der Differenzen von IBP systolisch – NIBP systolisch bei T1 ist 25,9mmHg. Die Standardabweichung der Differenzen ist 27,4mmHg. Die Übereinstimmungsgrenzen („limits of agreement“) ergeben sich wie folgt:

mean +2SD = 80,8mmHg

mean -2SD = -29,0mmHg

Das bedeutet, dass die invasive Blutdruckmessung in 95% der Fälle systolische Blutdruckwerte bei T1 liefert, die bis zu 29,0mmHg kleiner bzw. bis zu 80,8mmHg größer sind als die der manuellen non-invasive Blutdruckmessung.



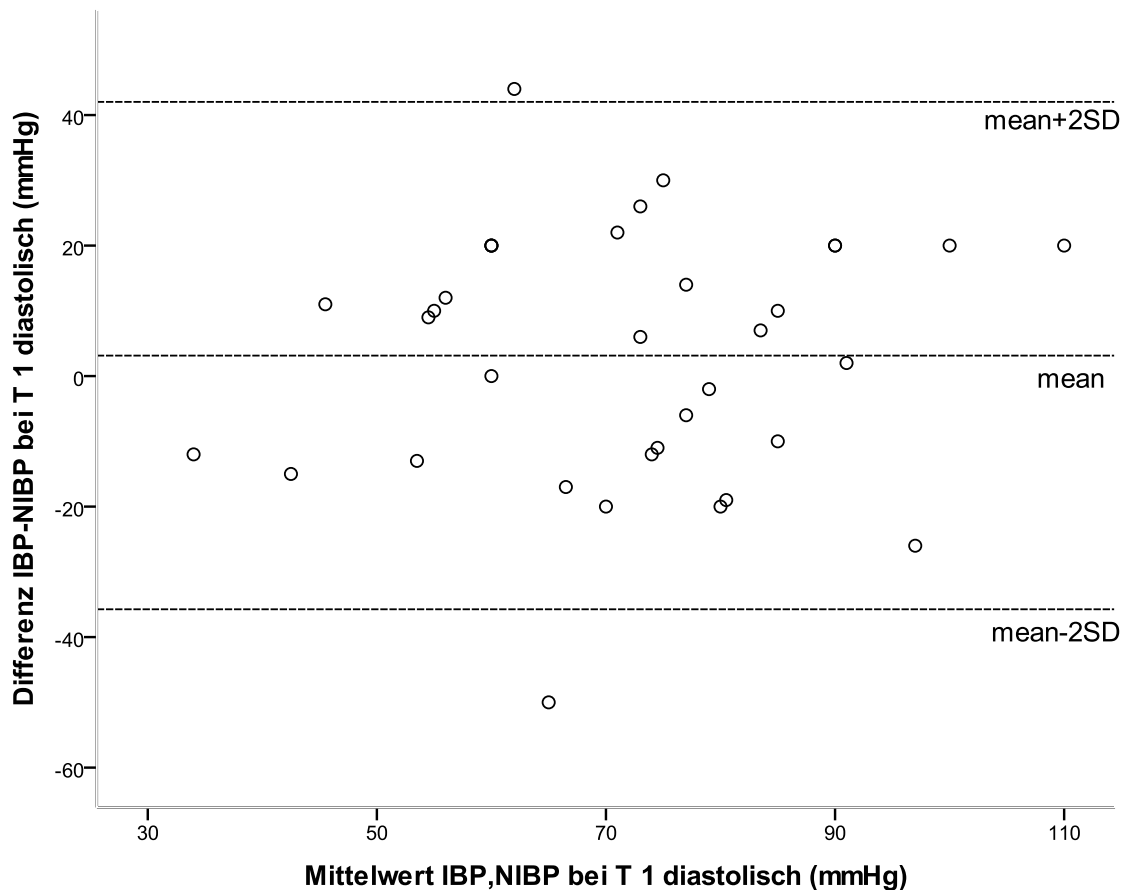
**Abbildung 44: Bland-Altman-Plot für den systolischen Blutdruck zum Messzeitpunkt  
T END**

Der Mittelwert der Differenzen von  $IBP_{\text{systolisch}}$  und  $NIBP_{\text{systolisch}}$  bei T End ist 15,8mmHg. Die Standardabweichung der Differenzen ist 17,1mmHg. Die Übereinstimmungsgrenzen („limits of agreement“) ergeben sich wie folgt:

mean +2SD = 50,8mmHg

mean -2SD = -18,0mmHg

Das bedeutet, dass die invasive Blutdruckmessung in 95% der Fälle systolische Blutdruckwerte bei T End liefert, die bis zu 18,0mmHg kleiner bzw. bis zu 50,8mmHg größer sind als die der manuellen non-invasive Blutdruckmessung.



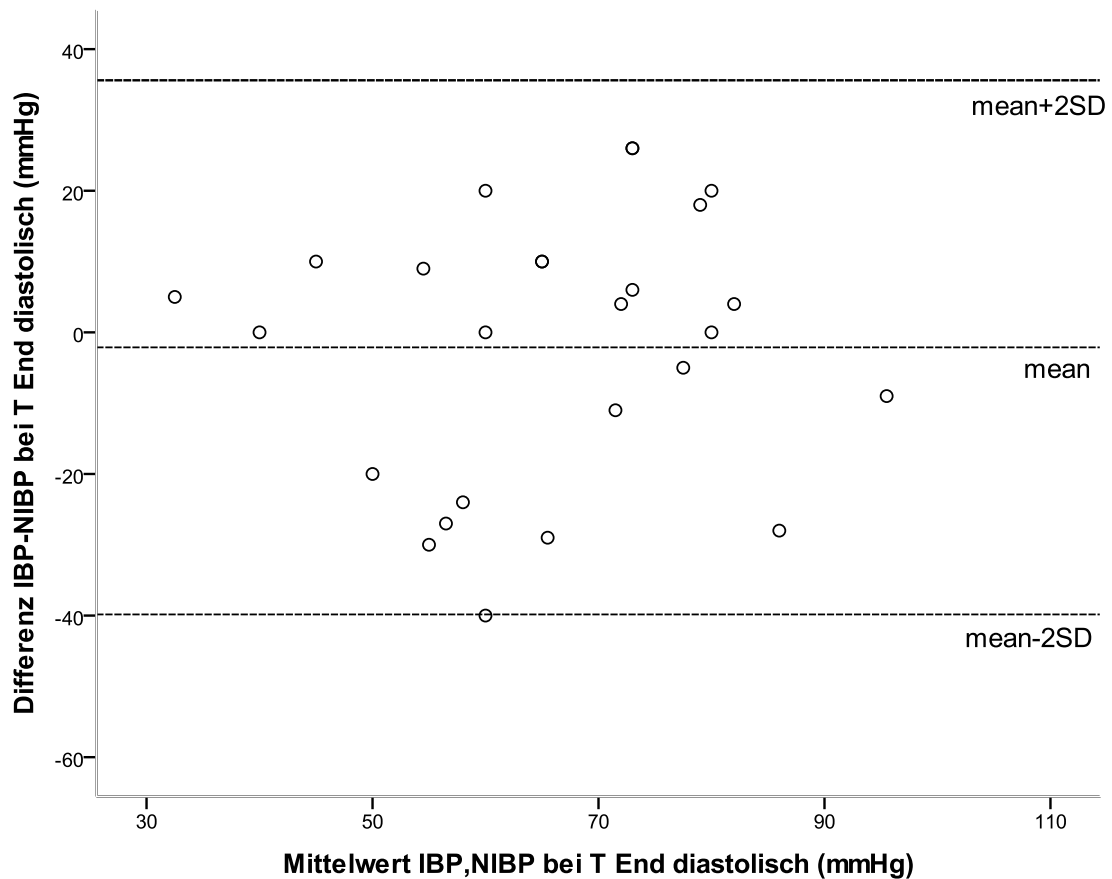
**Abbildung 45: Bland-Altman-Plot für den diastolischen Blutdruck zum Messzeitpunkt T 1**

Der Mittelwert der Differenzen von  $IBP_{diastolisch}$  und  $NIBP_{diastolisch}$  bei T 1 ist 3,1mmHg. Die Standardabweichung der Differenzen ist 19,4mmHg. Die Übereinstimmungsgrenzen („limits of agreement“) ergeben sich wie folgt:

$mean + 2SD = 42,0\text{mmHg}$

$mean - 2SD = -35,7\text{mmHg}$

Das bedeutet, dass die invasive Blutdruckmessung in 95% der Fälle diastolische Blutdruckwerte bei T 1 liefert, die bis zu 35,7mmHg kleiner bzw. bis zu 42,0mmHg größer sind als die der manuellen non-invasive Blutdruckmessung



**Abbildung 46: Bland-Altman-Plot für den diastolischen Blutdruck zum Messzeitpunkt  
T END**

Der Mittelwert der Differenzen von  $IBP_{diastolisch}$  und  $NIBP_{diastolisch}$  bei T End ist -2,1mmHg. Die Standardabweichung der Differenzen ist 18,9mmHg. Die Übereinstimmungsgrenzen („limits of agreement“) ergeben sich wie folgt:

mean + 2SD = 35,6mmHg

mean - 2SD = -39,8mmHg

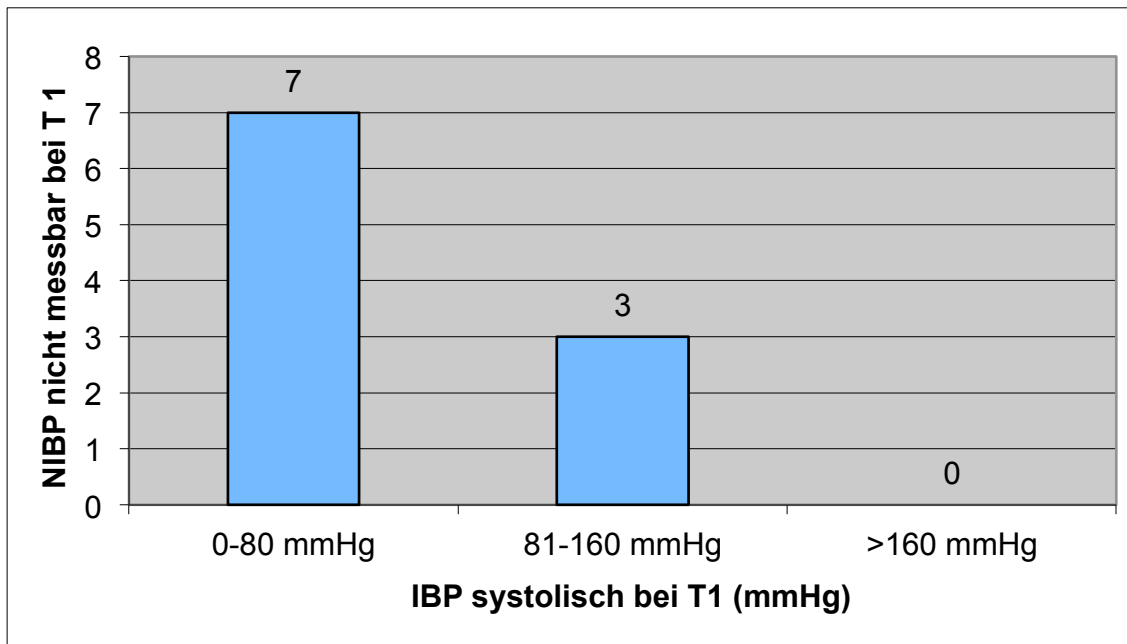
Das bedeutet, dass die invasive Blutdruckmessung in 95% der Fälle diastolische Blutdruckwerte bei T End liefert, die bis zu 39,8mmHg kleiner bzw. bis zu 35,6mmHg größer sind als die der manuellen non-invasive Blutdruckmessung.

			NIBP systolisch bei T1		Gesamt
			messbar	nicht messbar	
IBP systolisch bei T1	0-79 mmHg	Anzahl	0	7	7
		%	0%	100,0%	100,0%
	80-159 mmHg	Anzahl	26	3	29
		%	89,7%	10,3%	100,0%
	>=160 mmHg	Anzahl	9	0	9
		%	100%	0%	100,0%
Gesamt		Anzahl	35	10	45
		%	77,8%	22,2%	100,0%

**Tabelle 3: Häufigkeit der Nicht-Messbarkeit des non-invasiven Blutdrucks bei vorhandenem invasiven Blutdruck**

Bei der ersten Messung T1 konnte in zehn (22,2%) von 45 Fällen kein non-invasiver Blutdruck als Vergleichswert erhoben werden. Bei 35 Patienten (77,8%) konnten beide Werte gemessen und miteinander verglichen werden. Die systolischen IBP-Werte sind in drei Gruppen eingeteilt worden. In der ersten Gruppe wurden die Patienten zusammengefasst, die einen systolischen invasiven Blutdruck zwischen 0-80mmHg hatten. Hier war für alle Patienten (100%) der manuelle Blutdruck nicht messbar. In der mittleren Gruppe zwischen 81 und 160mmHg waren es 10,3% und in der Gruppe über 160mmHg waren es 0 %.

Mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests beziehungsweise dem entsprechenden von Monte-Carlo-Simulationen berechneten exakten Test konnte gezeigt werden, dass sich die drei Gruppen signifikant ( $p < 0,0005$ ) unterscheiden.



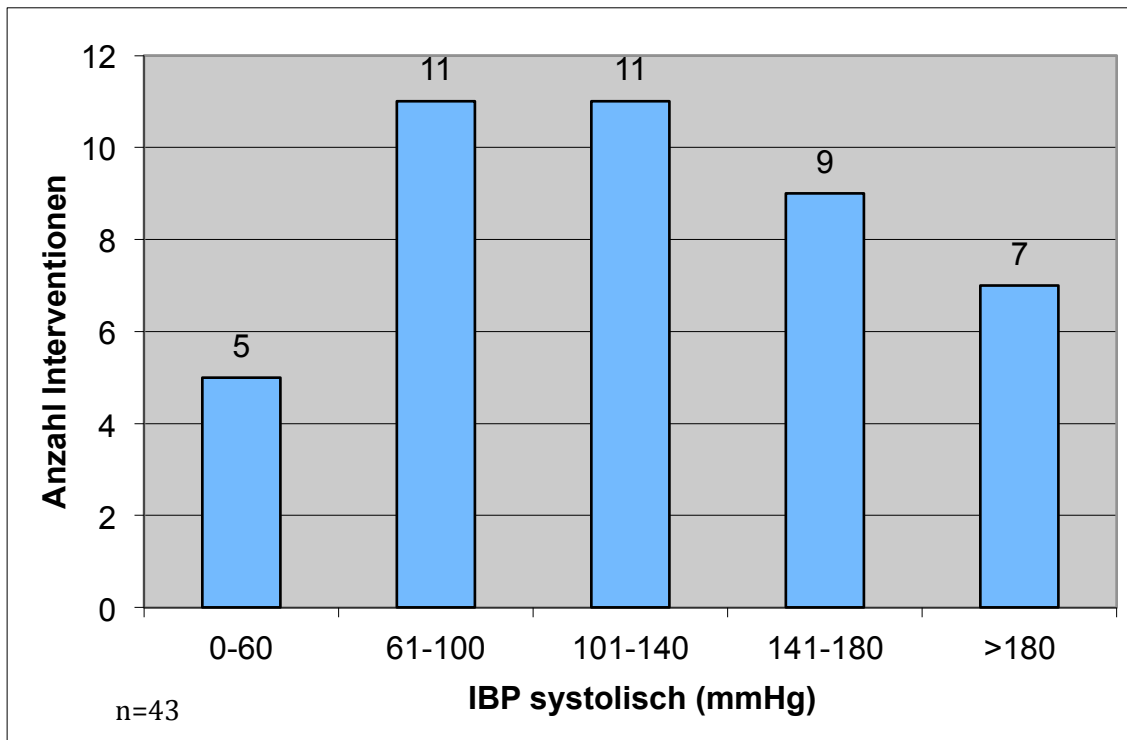
**Abbildung 47: Nicht messbare systolische non-invasiven Blutdruckwerte bei messbarem invasiven Blutdruck zum Zeitpunkt T 1**

### 3.3.4 Therapeutische Interventionen

Bei 21 (46,7%) der 45 Studienpatienten kam es nur auf Grund der durch die invasive Blutdruckmessung erhaltenen Werte zu einer therapeutischen Intervention durch den Notarzt.

Insgesamt wurde von 229 invasiven Messungen 43 Mal (18,8%) therapeutisch interveniert. Von diesen 43 Interventionen wurden 21 (48,8%) bei einem nicht messbaren non-invasiven Blutdruck durchgeführt und stützten sich somit ausschließlich auf den gemessenen invasiven Messwert.

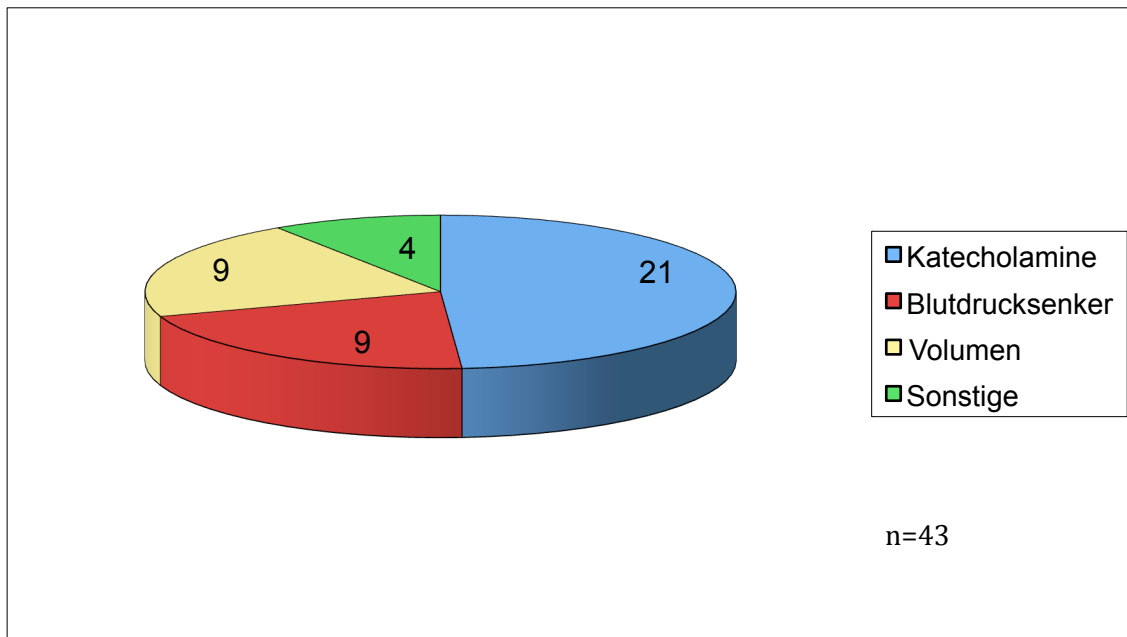




**Abbildung 48: Anzahl der Interventionen in den angegebenen invasiv gemessenen systolischen Blutdruckbereichen**

Im invasiv gemessenen systolischen Blutdruckbereich von 0-60mmHg wurde fünf (11,6%) mal interveniert. Im Bereich von 61-100mmHg elf mal (25,6%), im Bereich von 101-140mmHg ebenfalls elf mal (25,6%), im Blutdruckbereich von 141-180mmHg neun mal (20,9%) und im Bereich über 180mmHg sieben mal (16,3%).

Somit waren im Blutdruckbereich bis 100mmHg und über 140mmHg jeweils 37,2% aller Blutdruck beeinflussenden Interventionen erfolgt.



**Abbildung 49: Anzahl und Art der Interventionen**

Die Blutdruck beeinflussenden Interventionen wurden in vier Gruppen eingeteilt. In die der Katecholamine, Volumen, Blutdrucksenker (wie zum Beispiel Nitrospray, Ebrantil, Beta-Blocker) und Sonstige.

In 21 von 43 Fällen (48,8%) wurde aufgrund des invasiv gemessenen Blutdrucks die Entscheidung zu einer therapeutischen Intervention mit einem Katecholamin gefällt. In neun Fällen (20,9%) war dies ein Blutdrucksenker, in weiteren neun (20,9%) die Volumengabe und in vier (9,3%) Fällen sonstige Maßnahmen (z.B. externer Schrittmacher).

### 3.4 Point-Of-Care-Labor

Insgesamt wurden bei 33 Patienten 58 Blutgasanalysen durchgeführt, d.h. pro Patient wurden durchschnittlich 1,76 Blutgasanalysen untersucht. Je Patient erfolgten ein bis drei Messungen. In unserem Patientenkollektiv befanden sich 13 Frauen (39,4%) und 20 Männer (60,6%). Das durchschnittliche Alter lag bei 67 Jahren und der durchschnittliche NACA-Score betrug 5,24. Insgesamt ergab die Blutgasanalyse bei 32 (97,0%) der 33 Patienten zumindest einen pathologischen Wert.

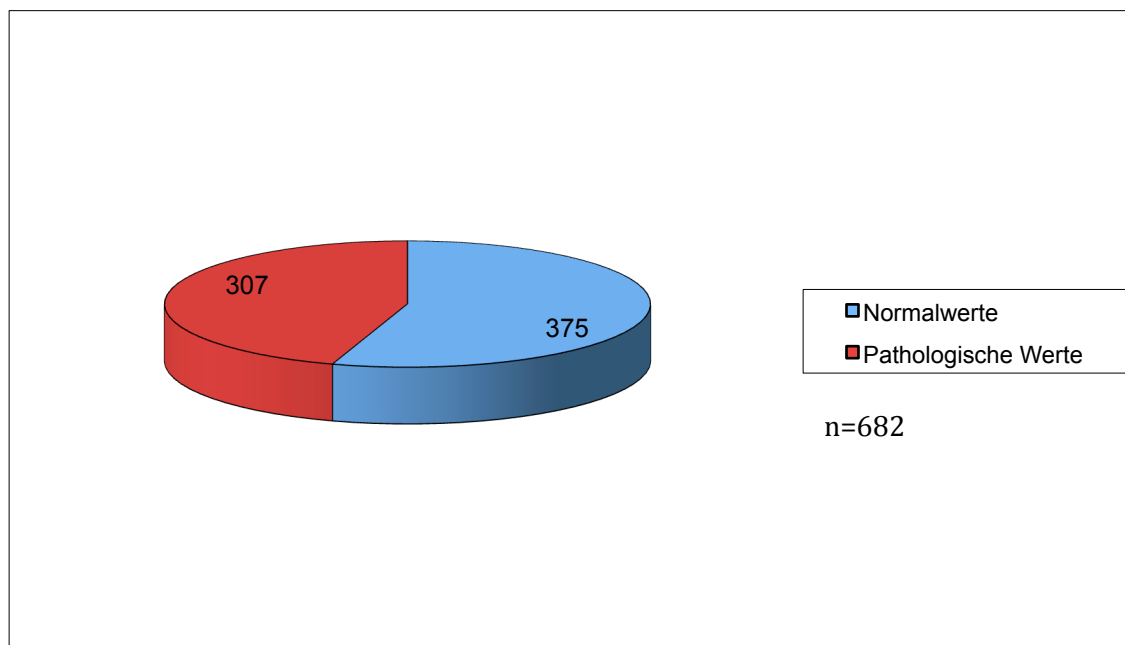
#### 3.4.1 Übersicht der Messwerte

Als Toleranzbereich wurden die folgenden Werte festgelegt, die bewusst weiter gefasst wurden als die eigentlichen Normwerte und sich an Interventionsgrenzen für die Akutintervention orientieren. Bei Messwerten außerhalb dieser Toleranzbereiche konnte der Notarzt therapeutisch intervenieren.

Parameter	Interventionsgrenzen
PaO <sub>2</sub>	<70 mmHg
PaCO <sub>2</sub>	<25 mmHg
	>55 mmHg
pH	< 7,30
	> 7,55
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	< 21 mmol/l
	> 28 mmol/l
BE	< -2
	> +2
sO <sub>2</sub>	< 95 %
Hct	< 37 %
Hb	< 12 g/dL
Na <sup>+</sup>	<138 mmol/l
	>146 mmol/l
K <sup>+</sup>	<3,5 mmol/l
	>4,9 mmol/l
iCa	<1,15 mmol/l
	>1,29 mmol/l
TCO <sub>2</sub>	<23 mmol/l
	>27 mmol/l

**Tabelle 4: Interventionsgrenzen**

Insgesamt wurden bei insgesamt 58 Blutgasanalysen 682 Werte gemessen. Von diesen lagen 307 (45,0%) außerhalb der festgelegten Toleranzbereiche. Die Anzahl der Werte im Normbereich betrug 375 (55,0%).



**Abbildung 50: Normal- und pathologischen Messwerte**

Insgesamt lagen sieben Messwerte (12,3%) des  $\text{PaO}_2$  unterhalb des Toleranzbereiches von 70mmHg und 50 (87,7%) im Normbereich.

Bei  $\text{PaCO}_2$  wurden 66 Messwerte erhoben, von denen sechs (9,1%) unter der unteren Toleranzgrenze von 25mmHg lagen, 40 (60,6%) im Normbereich und 20 (30,3%) über der oberen Toleranzgrenze von 55mmHg.

Der pH-Wert war in 29 (50%) von insgesamt 58 Messwertbestimmungen unter 7,30, lag 28 (48,3%) Mal im Normbereich und war bei einer Messung (1,7%) über 7,55.

Das aktuelle Bikarbonat war in 20 (37,0%) Messungen erniedrigt und in elf (20,4%) erhöht. Im Normbereich waren 23 (42,6%).

Bei der Bestimmung des Base Excess (BE) wurden 30 (54,6%) Messwerte unterhalb der Toleranzgrenze von -2 bestimmt, 12 (21,8%) lagen im Normbereich und 13 (23,6%) darüber.

Die Sauerstoffsättigung im Blut ( $\text{sO}_2$ ) wurde 55 Mal bestimmt. Hier lagen 9 (16,4%) Messwerte unterhalb der festgelegten Grenze von 95%  $\text{sO}_2$ .

Das Hämoglobin wurde insgesamt 57 Mal bestimmt, wovon 26 (45,6%) Messwerte unterhalb der festgelegten Norm waren.

Bei der Bestimmung von Natrium lagen von insgesamt 58 Messwerten 18 (31,0%) unter- und drei (5,2%) überhalb der festgesetzten Normgrenzen. Kalium wurde 57 Mal bestimmt, wovon 11 (19,3%) unter und sieben (12,3%) über der Normgrenze lagen.

Bei der Bestimmung von ionisiertem Calcium lagen 27 (49,1%) von insgesamt 55 Messwerten unterhalb der Toleranzgrenze und 2 (3,6%) darüber.

Das Totale Kohlendioxid ( $\text{TCO}_2$ ) wurde in 20 (46,5%) von insgesamt 43 Messwerten unterhalb der Normgrenzen bestimmt und 16 (37,2%) Messwerte darüber.

#### **3.4.2 Parameter im zeitlichen Verlauf**

Bei 21 Patienten wurden während der Notfallbehandlung zwei oder drei Messungen durchgeführt, die so einen Vergleich von erstem und letztem Messzeitpunkt ermöglichen.

Die folgende Tabelle zeigt die durchschnittlichen sowie maximalen und minimalen Werte für  $\text{PaO}_2$  (mmHg),  $\text{PaCO}_2$  (mmHg), pH,  $\text{HCO}_3^-$  (mmol/l), BE,  $\text{sO}_2$  (%),  $\text{TCO}_2$  (mmol/l), Hb (g/dl), Hkt (%), Na (mmol/l), K (mmol/l) und iCa (mmol/l).

Parameter	T 1	T End
PaO <sub>2</sub> mean	188,3	193,4
PaO <sub>2</sub> max	505	543
PaO <sub>2</sub> min	41	52
PaCO <sub>2</sub> mean	45,8	46,0
PaCO <sub>2</sub> max	97,0	68,5
PaCO <sub>2</sub> min	15,6	23,8
pH mean	7,21	7,31
pH max	7,57	7,48
pH min	7,01	7,08
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mean	21,86	24,27
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> max	32,70	32,90
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> min	6,9	12,5
BE mean	-5,1	-1,8
BE max	9	8
BE min	-22	-17
sO <sub>2</sub> mean	95,47	96,05
sO <sub>2</sub> max	100	100
sO <sub>2</sub> min	69	81
TCO <sub>2</sub> mean	23,55	25,95
TCO <sub>2</sub> max	34	35
TCO <sub>2</sub> min	7	14
Hb mean	13,14	12,28
Hb max	17,0	16,9
Hb min	8,5	8,5
Hkt mean	38,55	36,19
Hkt max	57	56
Hkt min	25	25
Na mean	137,45	138,70
Na max	144	147
Na min	123	121
K mean	4,00	3,98
K max	5,4	4,4
K min	3,1	2,8
iCa mean	1,16	1,12
iCa max	1,27	1,23
iCa min	1,05	0,88

**Tabelle 5: Maximale, minimale und durchschnittliche Messwerte der Blutgasanalyse zu T1 und T End während der Patientenversorgung**

Im Folgenden werden die einzelnen Messwerte im Verlauf der Notfallbehandlung graphisch dargestellt:

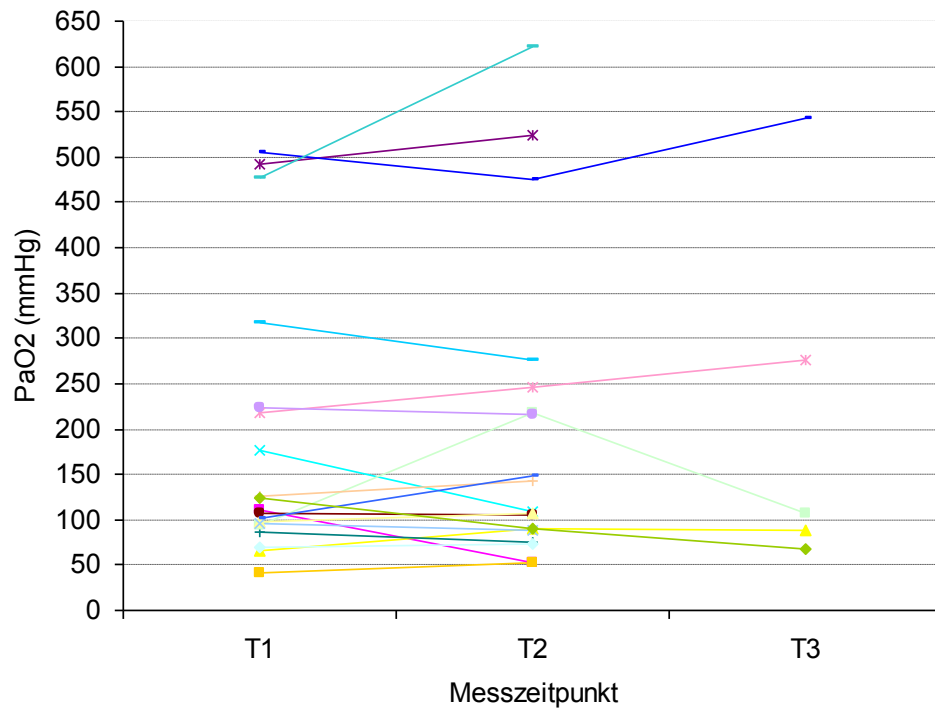


Abbildung 51: PaO<sub>2</sub> zu den Messpunkten T 1-3

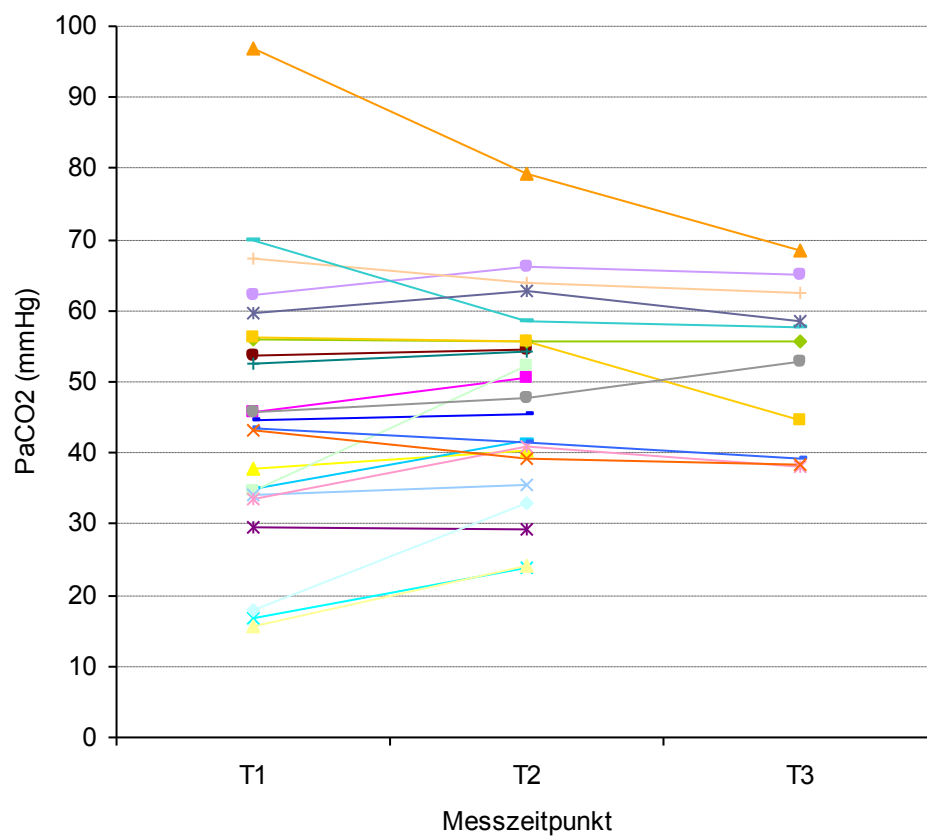


Abbildung 52: PaCO<sub>2</sub> zu den Messpunkten T1-3

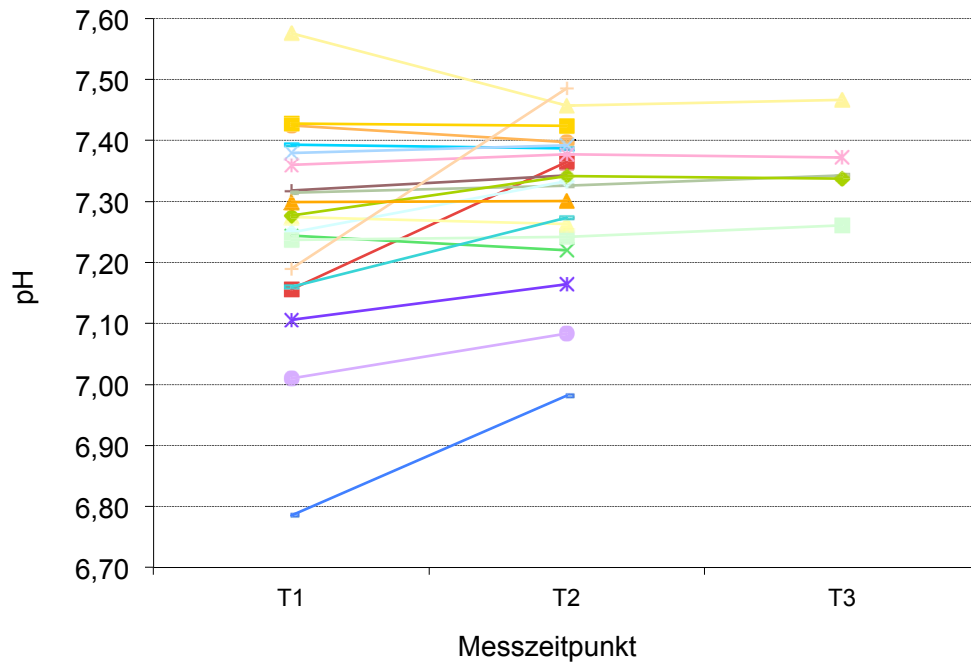


Abbildung 53: pH im zu den Messpunkten T1-3

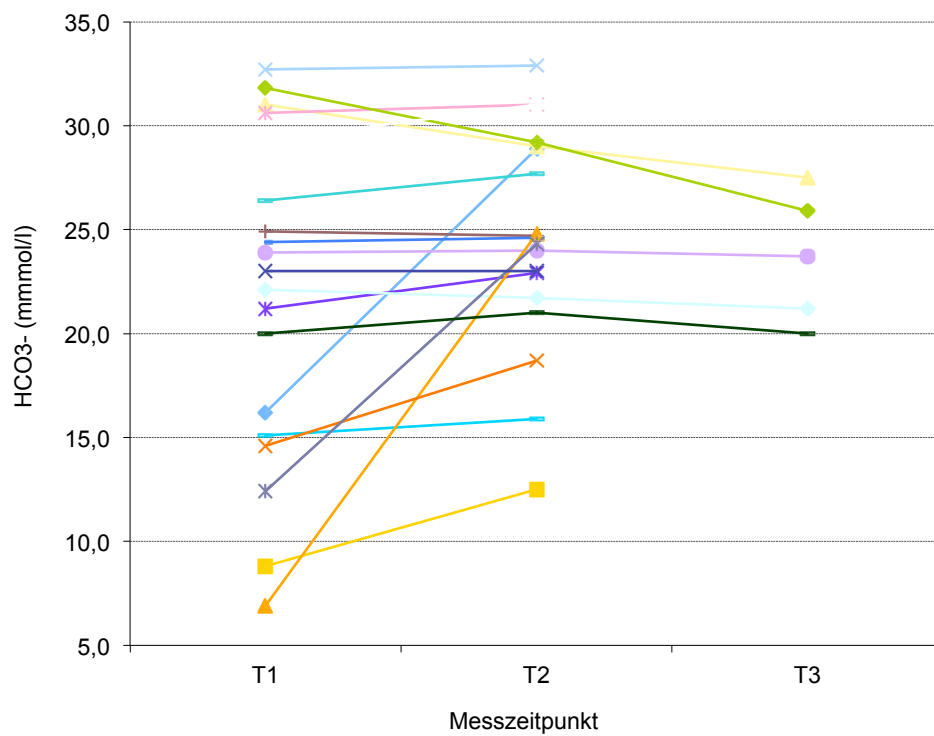
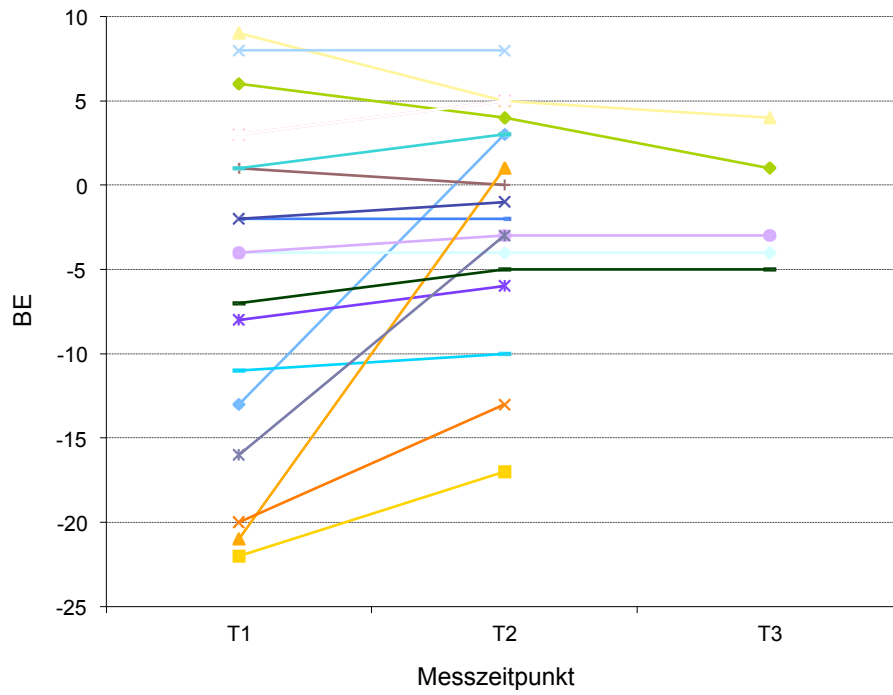
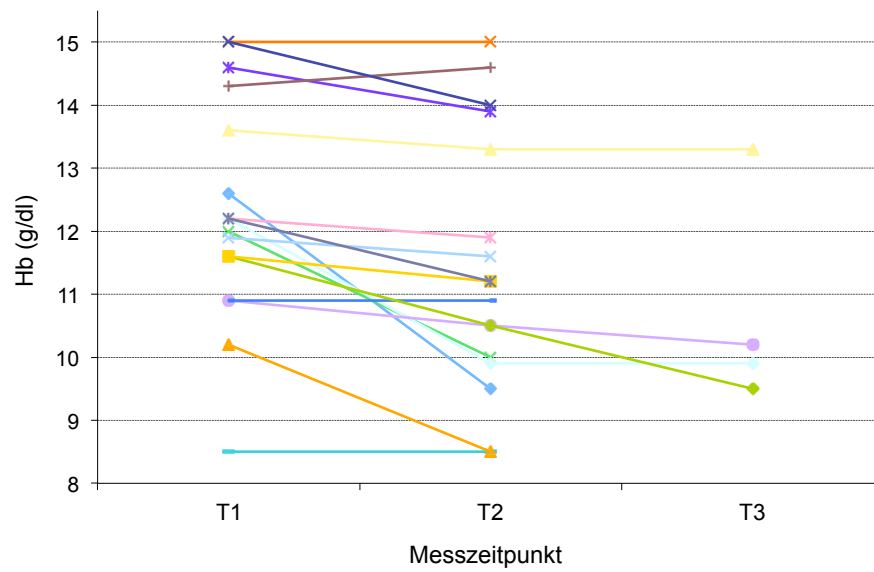


Abbildung 54: Bikarbonat zu den Messpunkten T 1-3





**Abbildung 55: Base Excess (BE) zu den Messpunkten T1-3**



**Abbildung 56: Hämoglobin zu den Messpunkten T 1-3**

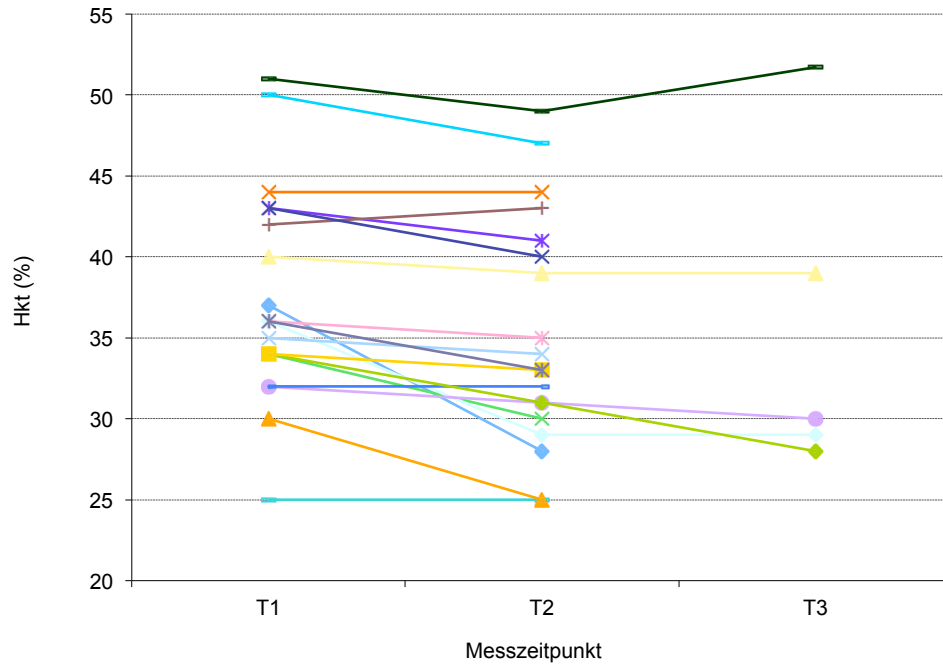


Abbildung 57: Hämatokrit zu den Messpunkten T 1-3

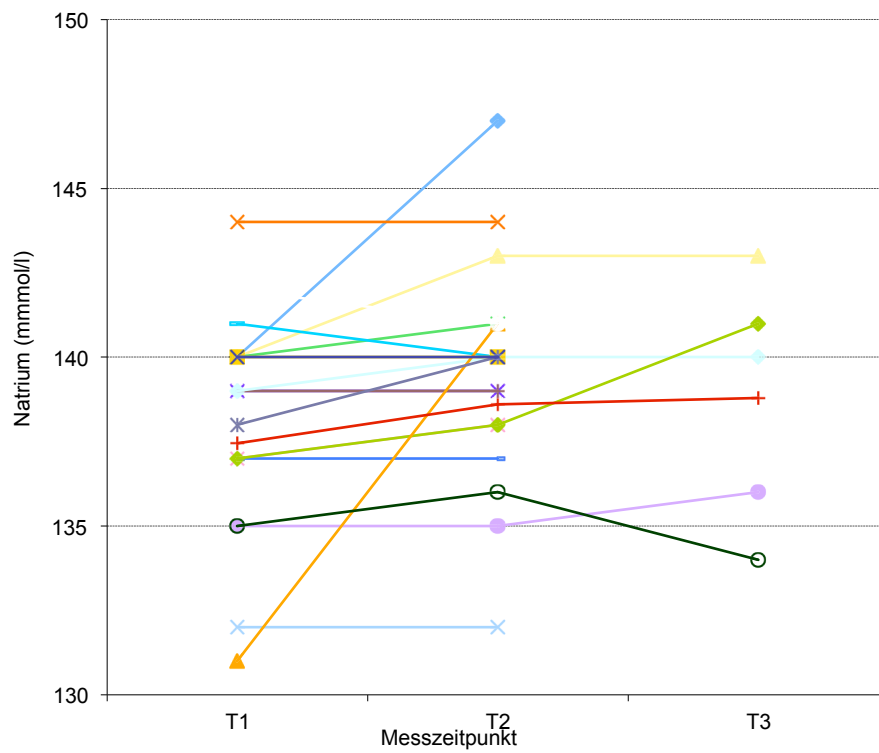


Abbildung 58: Natrium zu den Messpunkten T 1-3

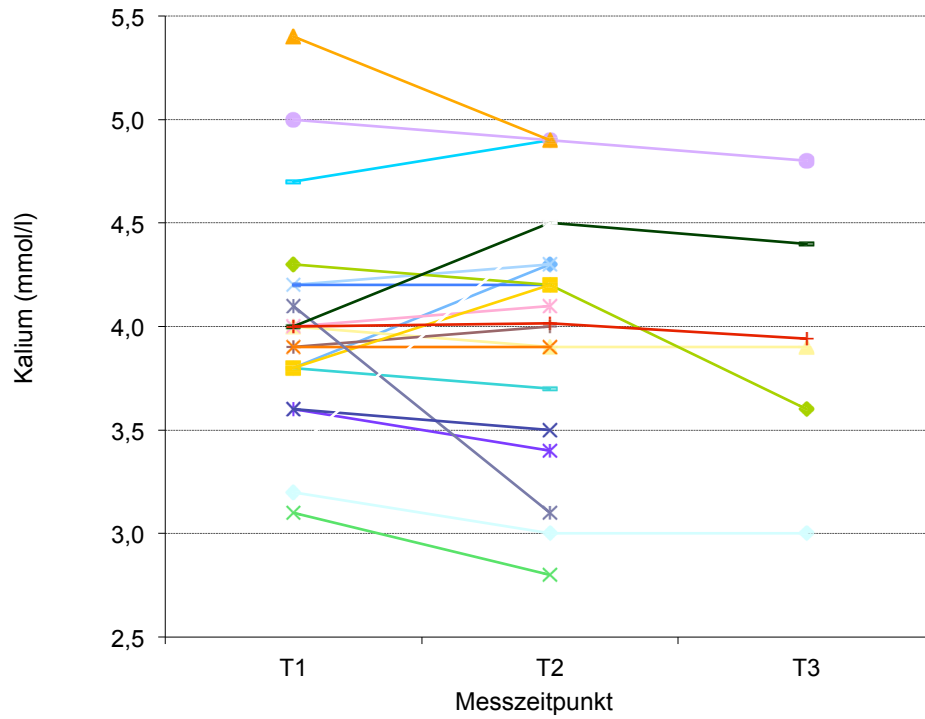


Abbildung 59: Kalium zu den Messpunkten T 1-3

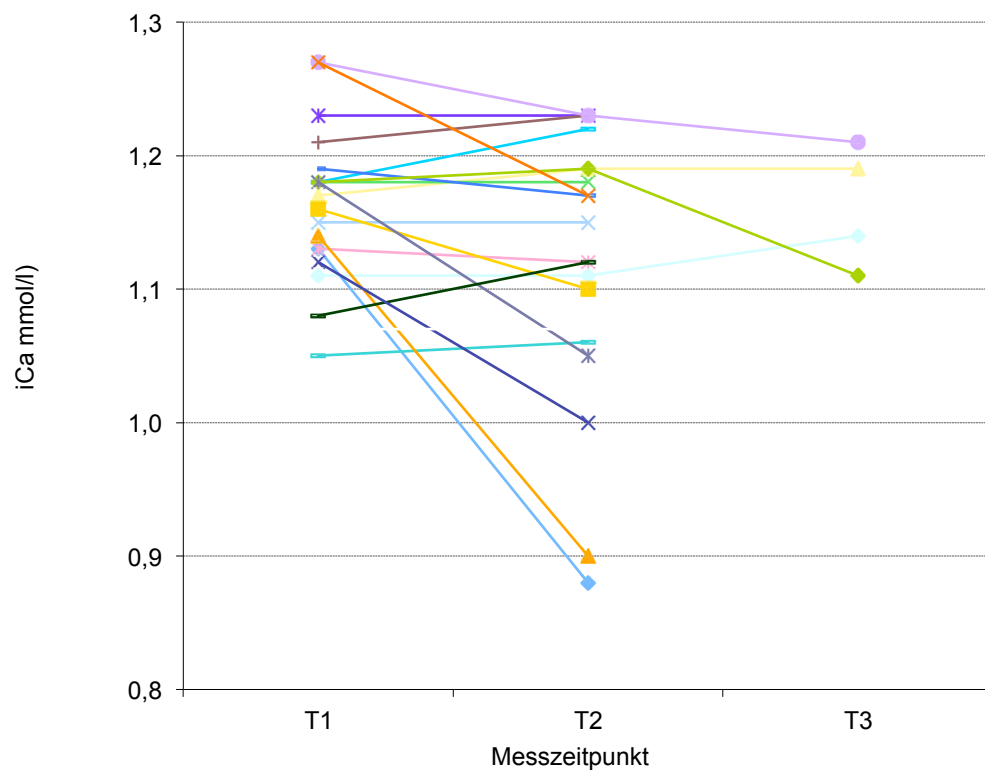
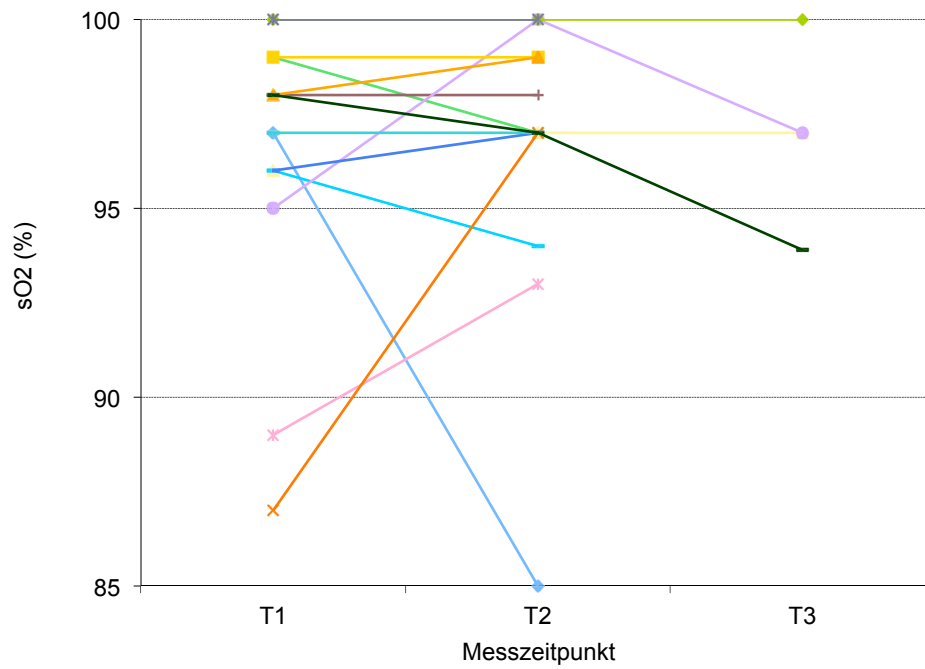
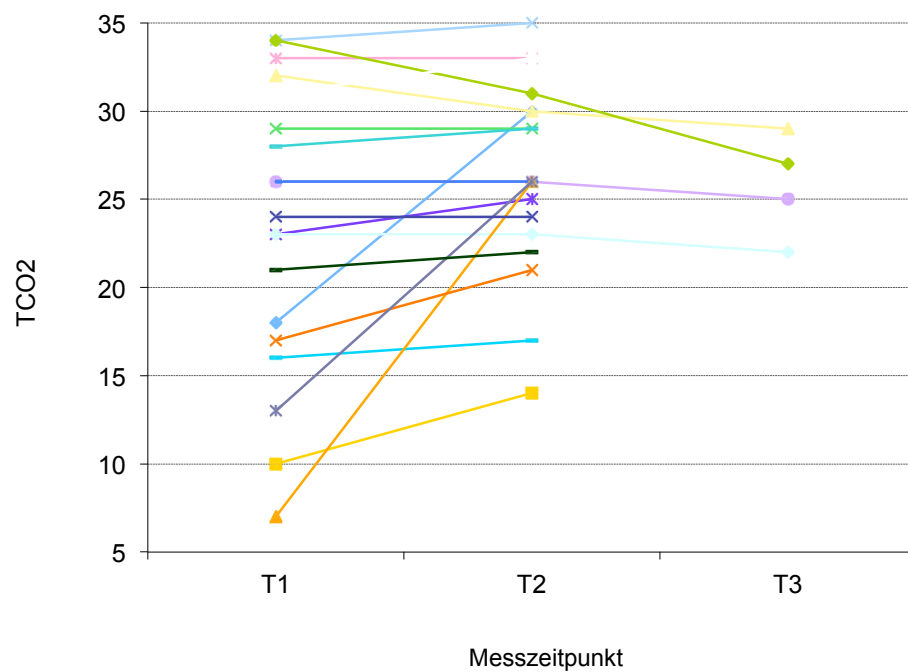


Abbildung 60: Ionisiertes Calcium zu den Messpunkten T 1-3



**Abbildung 61: Sauerstoffsättigung zu den Messpunkten T 1-3**



**Abbildung 62: Totales Kohlendioxid zu den Messpunkten T 1-3**

### 3.4.3 Kritische Messwertüberschreitungen

Die Anzahl der Patienten, bei denen im Behandlungsverlauf mindestens ein pathologischer Wert gemessen wurde, zeigt Tabelle 4.

Bei 22 (66,7%) Patienten bestand eine Störung des Säure-Basen-Haushaltes, bei 16 (48,5%) Patienten eine Anämie, bei acht (24,2%) eine Hypokaliämie, bei sechs (18,2%) eine Hyperkaliämie, bei elf (33,3%) eine Hyponatriämie und bei drei (9,1%) eine Hyperkaliämie.

Parameter	Interventionsgrenzen	Anzahl der Patienten	Anzahl der Messwerte
PaO <sub>2</sub>	<70 mmHg	5	7
PaCO <sub>2</sub>	<25 mmHg	4	6
	>55 mmHg	7	20
pH	< 7,30	21	29
	> 7,55	1	1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	< 21 mmol/l	16	20
	> 28 mmol/l	6	11
BE	< -2	19	30
	> +2	7	13
sO <sub>2</sub>	< 95 %	7	9
Hkt	< 37 %	17	31
Hb	< 12 g/dL	16	26
Na <sup>+</sup>	<138 mmol/l	11	18
	>146 mmol/l	3	3
K <sup>+</sup>	<3,5 mmol/l	8	11
	>4,9 mmol/l	6	7
iCa	<1,15 mmol/l	18	27
	>1,29 mmol/l	2	2
TCO <sub>2</sub>	<23 mmol/l	16	20
	>27 mmol/l	8	16
	Summe		307

**Tabelle 6: Festgelegte Toleranzbereiche der POC-Analyse, Anzahl der Messwertabweichungen und Anzahl der Patienten außerhalb der Toleranzbereiche**

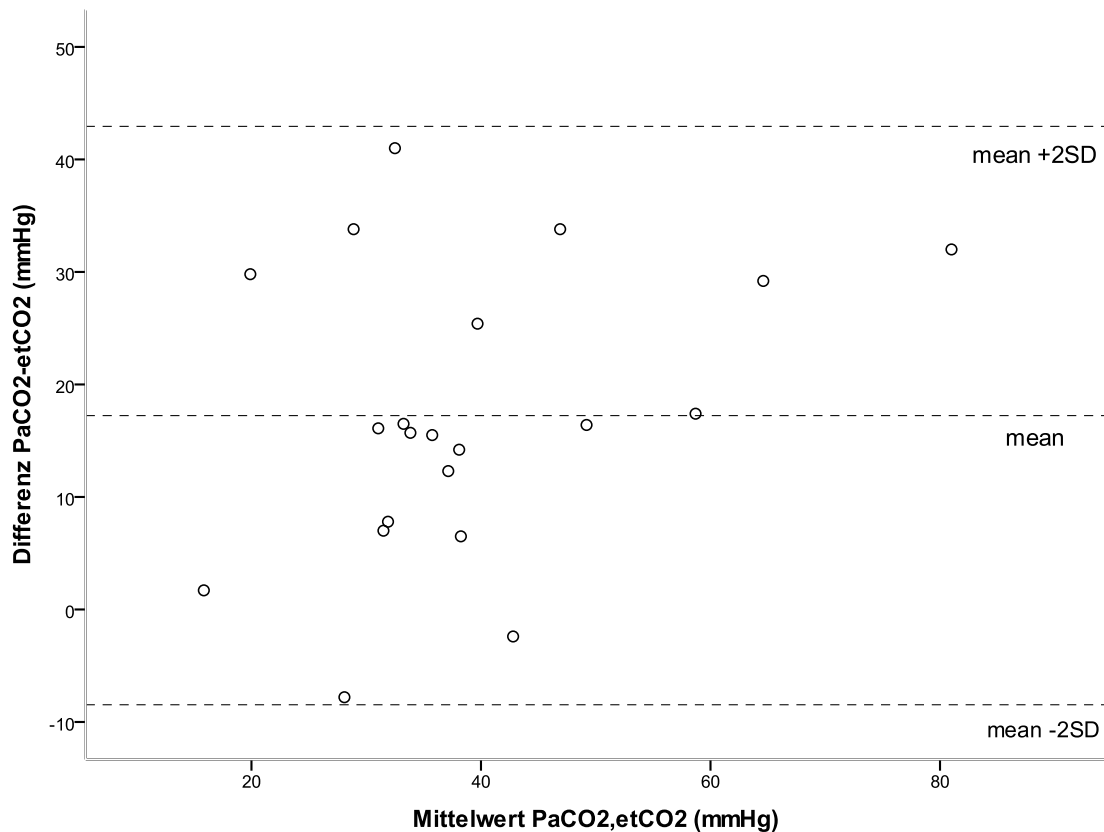
### 3.4.4 Arterio-endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Differenz (PaCO<sub>2</sub>-etCO<sub>2</sub>)

Die arterio-endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Differenz (PaCO<sub>2</sub> – etCO<sub>2</sub>) betrug bei sieben der 21 Patienten (33,3%) nicht mehr als zehn mmHg. Bei acht Patienten (38,1%) lag die Differenz zwischen elf und 20mmHg. Bei weiteren sechs Patienten war die arterio-endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Differenz über 20mmHg. Die Spannweite der Differenz ging bei unseren Messungen von – 8,46 bis 42,93 mmHg.

Die mittlere arterio-endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Differenz aller untersuchten Patienten war 17,23mmHg ± 12,85mmHg (mean±SD).

n=21	PaCO <sub>2</sub> - etCO <sub>2</sub> ≤10 mmHg	PaCO <sub>2</sub> - etCO <sub>2</sub> 11-20 mmHg	PaCO <sub>2</sub> - etCO <sub>2</sub> >20 mmHg	Mittelwert PaCO <sub>2</sub> (±SD)	Mittelwert etCO <sub>2</sub> (±SD)	Mittelwert PaCO <sub>2</sub> - et CO <sub>2</sub> = Mean (±SD)	Mean +2SD	Mean -2SD
	7 (33,33%)	8 (38,10%)	6 (28,57%)	47,61 (±17,98)	30,38 (±14,10)	17,23 (±12,85)	42,93	- 8,46

**Tabelle 7: Arterio-endexpiratorische Differenz**



**Abbildung 63: Bland-Altman-Plot PaCO<sub>2</sub> und etCO<sub>2</sub>**

95% der Differenz-Werte liegen im Bereich  $\text{mean} \pm 2\text{SD}$ , wobei „mean“ die Mittelwerte der Datenpaare von PaCO<sub>2</sub> und etCO<sub>2</sub> meint und SD die Standardabweichung der Differenzen von PaCO<sub>2</sub> und etCO<sub>2</sub>.

Diese Grenzwerte werden als „limits of agreement“ (Übereinstimmungsgrenzen) bezeichnet. Wie unten stehender Tabelle zu entnehmen lauten die Übereinstimmungsgrenzen wie folgt:

$\text{mean} + 2\text{SD} = 42,93\text{mmHg}$

$\text{mean} - 2\text{SD} = -8,46\text{mmHg}$

Das bedeutet, dass die Kapnometrie in 95% der Fälle einen Wert liefert, der bis zu 8,46mmHg größer beziehungsweise bis zu 42,93mmHg kleiner als PaCO<sub>2</sub> ist.

### 3.4.5 Arterio-endexpiratorische Differenz ( $\text{PaCO}_2\text{-etCO}_2$ ) bei messbarem und nicht-messbarem non-invasiven Blutdruck nach Riva-Rocci

#### Gruppenstatistiken

	N	Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
PaCO <sub>2</sub> -etCO <sub>2</sub> bei RR messbar	8	13,500	10,4850	3,7070
nicht messbar	10	19,890	14,4369	4,5653

**Tabelle 8: Mittelwert, Standardabweichung und Standardfehler des Mittelwerts der arterio-endexpiratorischen Differenz in mmHg bei messbarem und nicht-messbarem Blutdruck**

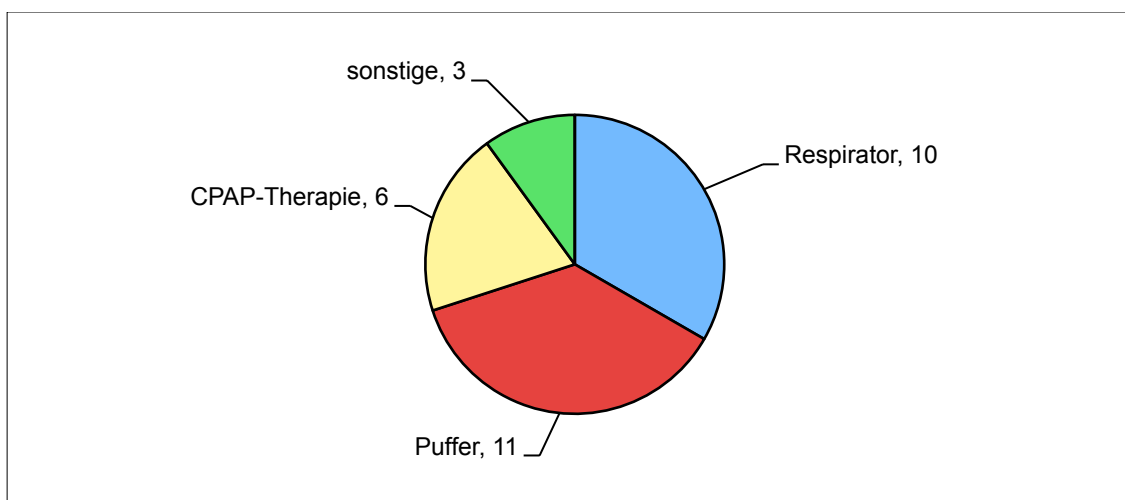
In der vorliegenden Studie gab es 18 Patienten, bei denen zu jeder Messung des manuellen Blutdrucks auch die zeitgleich gemessenen Werte von  $\text{PaCO}_2$  und  $\text{etCO}_2$  zur Verfügung standen. In acht dieser Fälle (44,4%) war der manuelle Blutdruck messbar und der Mittelwert der arterio-endexpiratorischen  $\text{CO}_2$ -Differenz 13,5mmHg. In zehn Fällen 65,7% war der non-invasive Blutdruck nach Riva-Rocci nicht messbar und der Mittelwert der arterio-endexpiratorischen  $\text{CO}_2$ -Differenz 19,9mmHg. Der T-Test für unabhängige Variablen war nicht signifikant ( $p=0,293$ ).

### 3.4.6 Therapeutische Interventionen

Bei 21 (63,6%) der 33 Patienten, bei denen eine Blutgasanalyse durchgeführt wurde, wurde auf der Grundlage der Blutgasanalyse eine therapeutische Intervention durchgeführt.

Insgesamt kam es zu 30 therapeutischen Interventionen, d.h. pro Patient 0,91 Interventionen.





**Abbildung 64: Therapeutische Interventionen auf Grundlage der Blutgasanalyse**

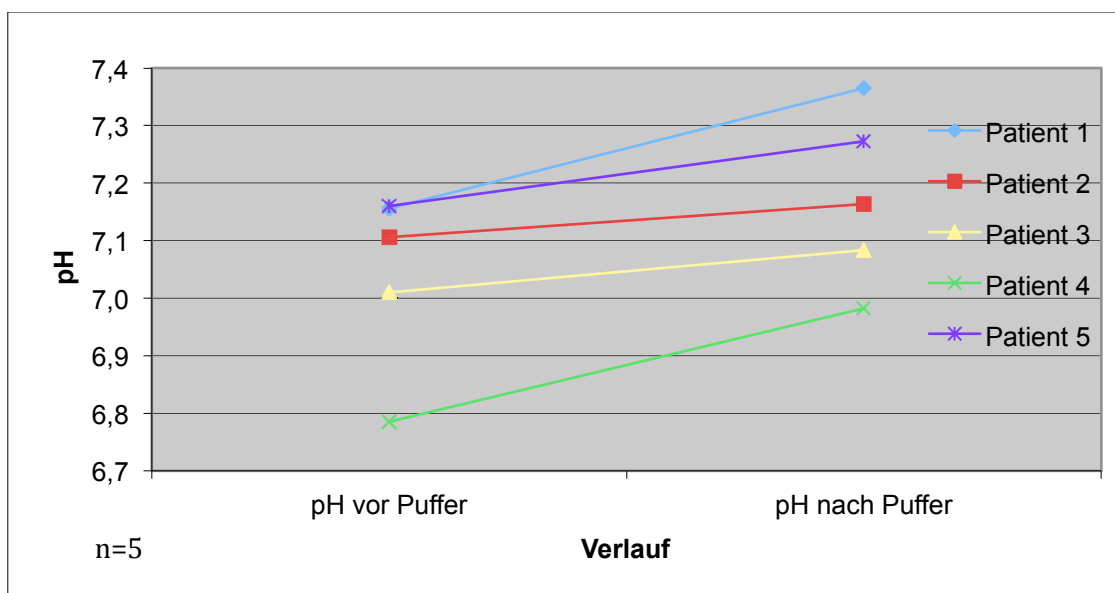
In elf (36,7) Fällen kam es auf Grund der Blutgasanalyse zu einer gezielten Pufferung mit Natriumbikarbonat. Zehn (33,3) mal wurde die Respiratoreinstellung angepasst und in sechs (20,0%) weiteren Fällen eine CPAP-Therapie durchgeführt. Einmal (3,3%) wurde die Elektrolytsubstitution mit Kalium durchgeführt. In insgesamt drei Fällen (10,0%) wurden sonstige therapeutische Interventionen eingeleitet (Intubation, Elektrolytsubstitution, assistierte Beatmung).

### 3.4.7 Point-Of-Care-Labor bei Reanimation

Bei zehn Patienten aus dem Gesamtkollektiv dieser Studie wurde unter Reanimationsbedingungen die Blutgasanalyse durchgeführt.

Es handelte sich um zwei Frauen (20%) und acht Männer (80%). Das durchschnittliche Alter betrug 65,6 Jahre und der durchschnittliche NACA-Score 5,8. Bei allen Patienten lag eine schwere Azidose vor und der durchschnittliche pH-Wert lag bei 7,01.

Eine Pufferung mit Natriumbicarbonat wurde vom Notarzt in fünf von zehn Fällen durchgeführt (50%). In allen Fällen, in denen die Pufferung vorgenommen wurde, erfolgte eine anschließende Kontrolle mittels Blutgasanalyse. Bei diesen fünf Patienten war der mittlere pH-Wert vor Pufferung 7,04 und nach Pufferung 7,17.



**Abbildung 65: pH-Werte der Reanimationsgruppe vor und nach Pufferung**

### 3.4.8 Praktischer Einsatz des Blutgasmessgerätes

Der praktische Einsatz des Blutgasmessgerätes gestaltete sich im Einsatzdienst weitestgehend problemlos. Die einfache und übersichtliche Bedienung des Gerätes trug maßgeblich dazu bei. Vor Einsatz des Gerätes wurden alle Mitarbeiter im Umgang damit intensiv geschult. Das Gerät wurde von dem verantwortlichen Mitarbeiter des Rettungsdienstes auf dem Notarzteeinsatzfahrzeug täglich zu Schichtbeginn mit einer speziellen Probekartusche des Herstellers auf Funktionsfähigkeit überprüft. Der tägliche Check musste vom Mitarbeiter dokumentiert werden.

Ebenso wurden alle dazugehörigen Materialien auf Haltbarkeit, Vollständigkeit und Unversehrtheit überprüft. Das Verbrauchsmaterial wurde im Lager des Rettungsdienstes vorgehalten. Die Einmalkartuschen wurden im Fahrzeug in einer Kühlbox gelagert, um die Haltbarkeit zu gewährleisten. Da diese Kartuschen jedoch vor dem Einsatz im Messgerät aufgewärmt werden mussten, wurden immer drei Kartuschen ungekühlt vorgehalten. Das Haltbarkeitsdatum verkürzte sich dem entsprechend. Die Software-Pflege des Gerätes wurde vom Rettungsdienst Mittelhessen mit übernommen, da dieser ebenfalls BGA-Geräte dieses Herstellers für seine Interhospitaltransfer- Flotte besitzt.

Der Betrieb war sowohl am Einsatzort und besonders auch im fahrenden Fahrzeug möglich und problemlos. Die Akkukapazität und die mechanische Belastbarkeit waren keine Ursache von Funktionsausfällen.

### **3.4.9 Fallbeispiele**

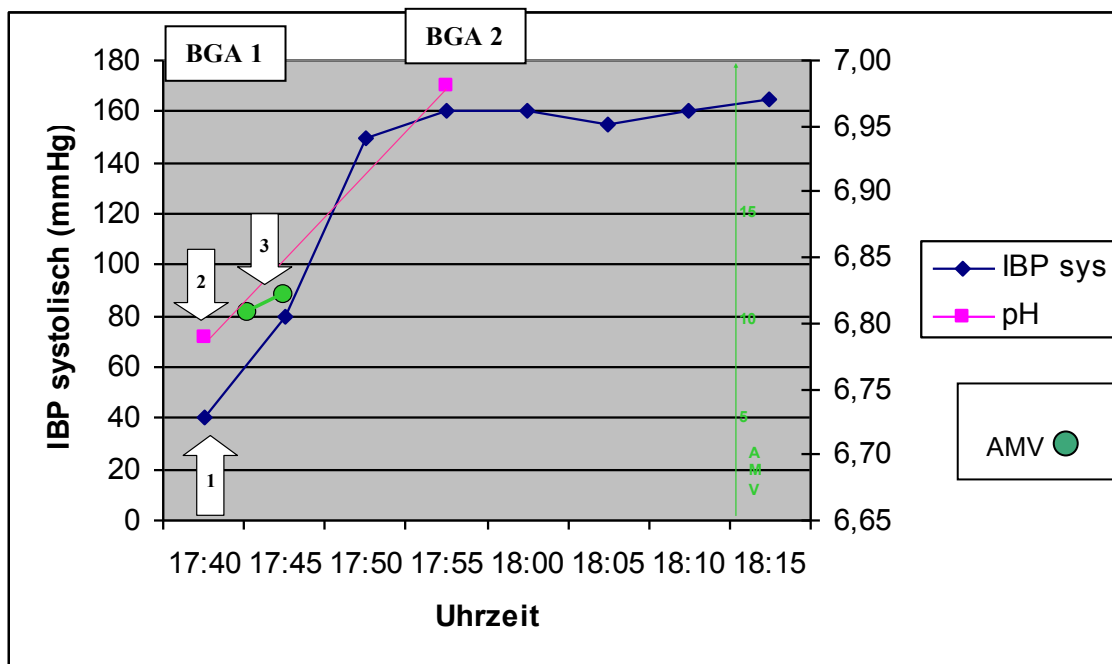
#### **Fall 1:**

Die Ankunftszeit des Notarztes beim Patienten war um 17:07 Uhr.

Ein 81-jähriger männlicher Patient war vor den Augen der Ehefrau auf der Toilette kollabiert. Als der Rettungsdienst die Wohnung des Patienten erreichte, erfolgte bereits der Basic Life Support durch den Hausarzt. Die Reanimationsmaßnahmen wurden vom Rettungsdienstpersonal nach den Vorgaben des ALS (Advanced Life Support) weitergeführt. Es bestand eine pulslose elektrische Aktivität (PEA) mit einer Herzfrequenz von 30 Schlägen pro Minute. Der Patient erhielt vom Notarzt insgesamt sieben Milligramm Suprenen und zwei Milligramm Atropin. Unter Fortführung der Reanimationsmassnahmen zeigte sich um 17:25 Uhr ein Spontankreislauf des Patienten (ROSC, Return Of Spontaneous Circulation). Nach Rückkehr des Spontankreislaufs wurde dann ein arterieller Zugang angelegt. In der ersten Blutgasanalyse gegen 17:40 Uhr zeigte sich ein pH von 6,79 und es erfolgte daraufhin die erste therapeutische Intervention mit der Gabe von Natriumbikarbonat. Das PaCO<sub>2</sub> lag bei 97mmHg und das etCO<sub>2</sub> bei 65mmHg. Die Einstellung am Respirator wurde entsprechend mit einer Erhöhung des Atemminutenvolumens angepasst.

Aufgrund des invasiv gemessenen systolischen Blutdrucks von 40mmHg erfolgte die kontinuierliche Gabe von Suprenen mittels Perfusor.

Zum Zeitpunkt der zweiten Blutgasanalyse um 17:55 Uhr zeigte sich das etCO<sub>2</sub> bei 50mmHg, während das PaCO<sub>2</sub> bei 79mmHg war. Der invasive systolische Blutdruck war zu diesem Zeitpunkt auf 160mmHg angestiegen. Der non-invasive Blutdruck konnte erstmals um 17:55 Uhr gemessen werden.



**Abbildung 66: Fall1; zeitlicher Verlauf von IBP, pH und AMV sowie die therapeutischen Interventionen (Pfeile 1-3)**

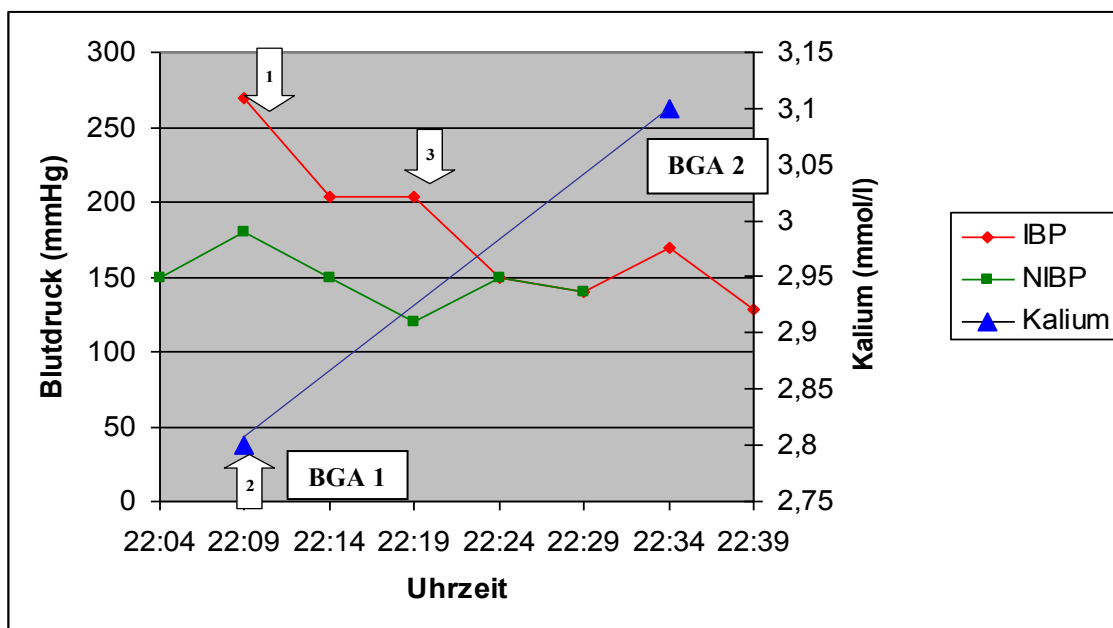
#### Fall 2:

Die Ankunftszeit des Notarztes beim Patienten war um 21:50 Uhr.

Es ereignete sich ein Hochgeschwindigkeits-Verkehrsunfall. Die 86 jährige Studienpatientin war Beifahrerin eines Personenkraftwagens. Sie klagte über Druckschmerz im linken Hemithorax und Übelkeit. Der Unterbauch zeigte bei der klinischen Untersuchung eine Abwehrspannung. Der initial gemessene non-invasive Blutdruck war 150 zu 90mmHg, die Atemfrequenz lag bei 30 pro Minute und die Sauerstoffsättigung unter Raumluft lag bei 82%. Die invasive Blutdruckmessung zeigte um 22:09 Uhr einen Blutdruck von 270/121mmHg an, während non-invasiv ein Blutdruck von 180 zu 100mmHg gemessen wurde. Die Patientin erhielt vom Notarzt 20 Milligramm Ebrantil und fraktioniert 15 Milligramm Morphin (Pfeil 1). In der ersten Blutgasanalyse zeigte sich zu diesem Zeitpunkt ein  $\text{PaCO}_2$  von 62mmHg. Bei einem Kalium von 2,8 mmol/l wurde entsprechend substituiert (Pfeil 2).

Zum Zeitpunkt der zweiten Blutgasanalyse konnte der Blutdruck bereits auf 170/58mmHg gesenkt werden, der nicht invasive Blutdruck wurde mit

140/50mmHg bestimmt. Da Kalium war auf 3,1 mmol/l angestiegen. Da der  $\text{PaCO}_2$  auf 66mmHg angestiegen war und sich klinisch die zeigte respiratorische Verschlechterung zeigte, stellte man die Indikation zur Intubation und Beatmung (Pfeil 3). Durch die Narkose kommt es zu einer weiteren Blutdrucksenkung gegen 22:19 Uhr. Nach Narkoseeinleitung sind keine weiteren non-invasiven Blutdrücke dokumentiert worden. Bei Übergabe der Patientin hatte sie einen invasiven Blutdruck von 128/80mmHg.



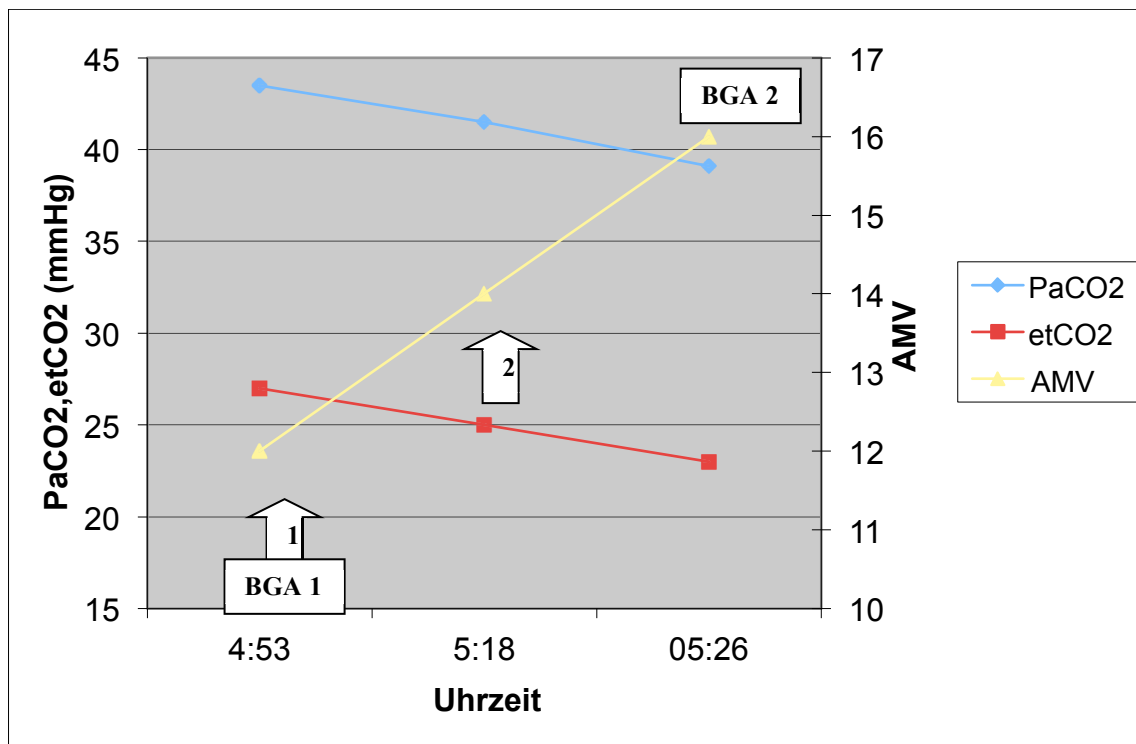
**Abbildung 67: Fall2; zeitlicher Verlauf von IBP systolisch, NIBP systolisch und Kalium sowie die therapeutischen Interventionen (Pfeile 1-3)**

### Fall 3:

Die Ankunftszeit des Notarztes beim Patienten war gegen 04:00 Uhr morgens. Es ereignete sich ein Hochgeschwindigkeits-Verkehrsunfall mit Frontalzusammenstoß zweier Personenkraftwagen. Die Studienpatientin war die Fahrerin eines der beteiligten Fahrzeuge. Ihr Auto war durch die Wucht des Unfalls in zwei Teile gerissen. Sie wurde zwischen Fahrzeugteilen außerhalb des Autos aufgefunden. Sie war nur bedingt ansprechbar und desorientiert. Die Patientin war polytraumatisiert mit einem Schädel-Hirn-Trauma, einem stumpfen Thoraxtrauma und einem stumpfen Bauchtrauma. Der initial

gemessene non-invasive Blutdruck war 90/60mmHg. Danach könnten keine weiteren non-invasiven Messwerte erhoben werden. Die Anlage der arteriellen Leitung erfolgt dann im Rettungswagen noch vor Narkoseeinleitung und war somit die einzige Möglichkeit zur adäquaten Blutdrucküberwachung.

Es erfolgten im Verlauf insgesamt drei Blutgasanalysen. Die ersten um 04:54 Uhr, die zweite um 05:18 Uhr und die dritte um 05:26 Uhr. Die Abfahrt mit der Patientin vom Unfallort war um 05:07 Uhr. Die Ankunft am Zielkrankenhaus war um 05:45 Uhr. Die Dauer der „On-Scene-Time“ am Unfallort kann durch das Studienprotokoll nicht erklärt werden. Es zeigte sich in jeder der durchgeführten BGA'S eine arterio-endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Differenz, die in zwei Fällen eine therapeutische Konsequenz durch Anpassung der Respiratoreinstellung nach sich zog.



**Abbildung 68: Fall3; zeitlicher Verlauf von PaCO<sub>2</sub>, etCO<sub>2</sub> und des AMV sowie die therapeutischen Interventionen (Pfeile 1-3)**

Pfeil 1: Anpassung der Respiratoreinstellung, Erhöhung des AMV von 12 auf 14

Pfeil 2: Anpassung der Respiratoreinstellung, Erhöhung des AMV von 14 auf 16

## 4 Diskussion

### 4.1 Demographische Daten

In unserem Studienkollektiv fanden sich 25 männliche Patienten (55,6%) und 20 weibliche Patienten (44,4%). Den etwas höheren Anteil von Männern unter den Notfallpatienten finden auch Bernhard et al. (2006) in der Universitätsstadt Heidelberg mit 55% männlichen und 44% weiblichen Patienten (1% keine Angabe), allerdings unter allen Notfallpatienten.

Das durchschnittliche Alter unserer Studienpatienten von  $67 \pm 18$  Jahren entspricht dem, was den persönlichen Erfahrungen entspricht und auch in vergleichbaren Gegenden einer Universitätsstadt untersucht wurde. Das Durchschnittsalter im Jahr 2013 im Landkreis Marburg-Biedenkopf hingegen betrug 41 Jahre, im Jahr 2020 wird es Schätzungen zufolge bei 45 Jahren liegen. Das durchschnittliche Alter der vom Notarzt behandelten Patienten in der Universitätsstadt Heidelberg im Jahr 2004 lag bei  $58 \pm 23$  Jahren. Auf Grund des demographischen Wandels und der eher ländlichen Struktur mit höherem Durchschnittsalter im Landkreis Marburg-Biedenkopf ist das Durchschnittsalter unserer Studienpatienten nachvollziehbar. Die Anzahl der Notarzteinsätze am Universitätskrankenhaus Heidelberg (im Jahr 2004=3824) entsprachen denen im Landkreis Marburg-Biedenkopf (im Jahr 2009=3889)[2]

### 4.2 Patienteneinteilung nach NACA-Score

34 der eingeschlossenen Patienten wurden aufgrund Ihrer Verletzungen oder Erkrankungen in die Kategorie NACA V eingestuft. Elf Patientin wurden in Kategorie NACA VI und keiner in NACA VII eingeteilt. Aufgrund der festgelegten Einschlusskriterien sind alle anderen Patienten mit niedrigerem NACA-Score von I-IV nicht in die Studie aufgenommen worden.

Auch Prause et al. untersuchten die Einsatzmöglichkeit der präklinischen Blutgasanalyse an reanimationspflichtigen Patienten mit einem NACA-Score von VI. [34, 36]. Low et al. führten vergleichende Blutdruckmessungen bei kritischen Patienten an Bord von Rettungshubschraubern durch. Die Einteilung nach dem NACA-Score verwendete er nicht [26].

### 4.3 Invasive Blutdruckmessung

In dem Studienkollektiv wurde bei 45 Patienten die vergleichende invasive und non-invasive Blutdruckmessung durchgeführt. Dabei wurden insgesamt 229 Messpaare dokumentiert.

In der Studienzeit konnte eine gute Anzahl an Studienpatienten rekrutiert werden. Allerdings ist die Anzahl der Studienpatienten hinter den Erwartungen zurückgeblieben. Dies war einerseits darauf zurückzuführen, dass gleich zwei für den Rettungsdienst komplexe und neuartige Verfahren angewendet wurden. Die Mitarbeiter mussten mehrfach intensiv geschult werden und haben durch die geringe Fallzahl auch entsprechend wenig Routine entwickeln können. Weiterhin haben auch die Notärzte durch ihre unterschiedliche fachliche Ausrichtung, den Ausbildungsstand und der Erfahrung im Rettungsdienst teilweise Schwierigkeiten gehabt, die Maßnahme in den Behandlungsablauf zu integrieren. Die überwiegende Anzahl der Patienten haben die Mitarbeiter der Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie der Universitätsklinik Gießen und Marburg, Standort Marburg, gefolgt von den Kollegen der Inneren Medizin in die Studie eingeschlossen. Im Vergleich zu den nachfolgend zitierten Studien konnte jedoch teilweise eine weitaus höhere Fallzahl erreicht werden.

Bei insgesamt 134 Messpaaren lagen alle zu vergleichenden Blutdruckwerte vor. So konnten die non-invasiven und invasiven systolischen und diastolischen Messwerte verglichen werden.

Im Vergleich von allen invasiven und non-invasiven Blutdruckmesspaaren gab es eine gute Korrelation von  $r = 0,7$ , welche höchst signifikant war.

Die systolischen Blutdruckwerte zu den Messzeitpunkten „T 1“ ( $r = 0,8$ ) und „T END“ ( $r = 0,8$ ) zeigten eine gute Korrelation und waren ebenfalls beide höchst signifikant.

Bei allen diastolischen gemessenen Blutdruckwerte war die Korrelation mit  $r = 0,3$  gering und signifikant. Zum Zeitpunkt „T1“ war die Korrelation der diastolischen Werte mit  $r = 0,4$  hoch signifikant und zu „T End“ mit  $r = 0,4$  signifikant.

Green et al. [13] haben in ihrer Studie invasive und non-invasive Blutdruckmessung während herzchirurgischen Operationen verglichen. Auch sie zeigten bessere Korrelation der systolischen Blutdruckwerte als der diastolischen.



War der invasive systolische Blutdruck unter 80mmHg, so konnte bei keinem Patienten zum Zeitpunkt „T 1“ ein non-invasiver Wert bestimmt werden.

Im Bereich von 80 bis 159mmHg konnte von 29 Patienten bei drei (11,4%) kein non-invasiver Blutdruck gemessen werden.

Bei invasiv gemessenen systolische Blutdruckwerten von 160mmHg oder höher konnte bei allen sechs Studienpatienten auch ein non-invasiver Vergleichswert gemessen werden. Die drei Gruppen unterschieden sich signifikant voneinander.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Nicht-Messbarkeit des non-invasiven Blutdrucks auf einen niedrigen Blutdruck der Patienten schließen lassen. Je niedriger der tatsächliche Blutdruck des Patienten ist, desto wichtiger erscheint die invasive Blutdruckmessung.

In der Studie von Low et al. [26] wurde die Genauigkeit der Blutdruckmessung durch vergleichende invasive und non-invasiven Verfahren an Bord von Rettungshubschraubern bei kritisch kranken Patienten untersucht. Auch sie zeigten, dass es zeitweise unmöglich ist den non-invasiven Blutdruck zu bestimmen. In diesen Situationen kann nur der invasive Blutdruck für kritisch kranke Patienten genaue Werte liefern. Die Nicht-Messbarkeit des nicht-invasiven Blutdrucks war aber in dieser Arbeit nicht gleichbedeutend mit einem niedrigen systolischen invasiven Druck.

In der vorliegenden Studie waren der Mittelwert und die Standardabweichung ( $\text{mean} \pm \text{SD}$ ) der Messungenauigkeit zwischen dem systolischen invasiven Blutdruck und dem non-invasiven Blutdruck  $21 \pm 27\text{mmHg}$ . Der non-invasive Blutdruck war also im Mittel um 21mmHg niedriger als der invasive Blutdruck. Die hohe Standardabweichung impliziert eine Ungenauigkeit der non-invasiven Messung.

Betrachtet man die limits-of-agreements so zeigt sich, dass wir in unserem Kollektiv in 95% der Fälle invasive systolische Blutdruckwerte hatten, die bis zu 33mmHg kleiner bzw. bis zu 75mmHg größer waren als die der manuellen non-invasiven Blutdruckmessung (NIBP).

Low und Martin [26] hatten im Jahr 1988 in ihrer Studie 222 Messpaare von 20 Patienten gewinnen können. Sie zeigten für die vergleichende systolische Messung zwischen invasiver und palpatorischer Methode einen Mittelwert von 19mmHg ( $\pm 22\text{mmHg}$  Standardabweichung), zwischen invasiver und durch

Doppler gemessenen Blutdruck von 8mmHg ( $\pm 17$ mmHg SD) und zwischen invasiver und oszillometrischer Messung von Null mmHg ( $\pm 33$ mmHg SD).

In der vorliegenden Studie sind bei kritisch kranken Patienten ähnliche Mittelwerte mit 21mmHg für die systolische Vergleichsmessung von invasiver und non-invasiver Blutdruckmessung gefunden worden wie bei Low und Martin mit 19mmHg. Die Standardabweichung ist mit 27mmHg höher als Low und Martin mit 22mmHg.

Gourdeau et al. [12] haben in ihrer Studie als non-invasives Verfahren die oszillometrische mit der invasiven Blutdruckmessung verglichen. Ihre Studienpatienten hatten ein Durchschnittsalter von 35 Jahren. Die Vergleichsmessung erfolgte während absichtlich herbeigeführter Hypotension (invasiver Blutdruck kleiner 80mmHg) bei chirurgischen Eingriffen unter Allgemeinanästhesie durchgeführt. Die Patienten waren gesund oder hatten keine wesentlichen Vorerkrankungen (ASA I und II).

Auch sie zeigten bei diesem Patientengut große individuelle Abweichungen des invasiven und non-invasiven Blutdrucks. Die oszillometrische Blutdruckmessung zeigte für einen invasiven systolischen Blutdruck über 80mmHg eher zu niedrige und unter 80mmHg eher zu hohe Blutdruckwerte an. Holland und Humerfelt [19] zeigten in ihrer Studie, dass die systolischen Werte der invasiven und manuellen Blutdruckmessung sehr gut korrelierten ( $r=0,95$ ). Sie stellten aber ebenfalls die Ungenauigkeit der manuellen Blutdruckmessmethode fest. Diese lag durchschnittlich 25mmHg unter dem für den systolischen Blutdruck. Die Studienteilnehmer waren teils gesunde oder internistisch erkrankte Patienten und Angestellte eines Krankenhauses.

Davis [8] verglich in seiner Studie an 50 chirurgischen Patienten den manuell auskultatorisch gemessenen Blutdruck mit dem invasiv gemessenen Wert, sowohl intraoperativ als auch auf der ICU postoperativ. Allerdings wurden hier nur Daten in stabilen hämodynamischen Phasen der Patienten verwendet. Er konnte zeigen, dass der manuell gemessene Blutdruck den invasiven systolischen unterschätzt und den diastolischen überschätzt.

Bei schwerkranken und schwerverletzten Patienten, wie in dem Patientenkollektiv der vorliegenden Studie, scheint die manuelle Blutdruckmessung oft zu ungenaue Werte zu liefern. Weiterhin kann man nicht mit Sicherheit bei der Nicht-Messbarkeit des non-invasiven Blutdrucks von

einem niedrigen systolischen Blutdruck ausgehen. Allerdings deuten die Ergebnisse darauf hin, dass hier ein Zusammenhang besteht. Die manuelle Blutdruckmessung ist in der vorliegenden Studie der invasiven Blutdruckmessung klar unterlegen. Dies gilt sowohl für den systolischen als auch den diastolischen Wert. Aber auch durch die kontinuierliche Messung zeigt sich die Überlegenheit der invasiven Blutdruckmessung, gerade auch durch die stete Überwachung schwerkranker und schwerverletzter Patienten.

Der systolische manuelle Blutdruck unterschätzt den invasiven um 21mmHg, bei T1 um 26mmHg und bei T END um 16mmHg. Dies konnte auch bei Davis [8] und Holland [19] nachgewiesen werden.

Bei allen Blutdruckwerten war die Differenz der Mittelwerte etwa gleich Null, bei T 1 wurde der diastolische invasive Wert durch die manuelle Messung durchschnittlich um 3mmHg unterschätzt und bei T END durchschnittlich um 2mmHg überschätzt. Auch dies konnte Davis in seiner Studie so nachweisen [8].

#### **4.3.1 Therapeutische Interventionen auf Grundlage der invasiven Blutdruckmessung**

Ein Ziel der Studie war es, herauszufinden, wie oft der Notarzt auf der Grundlage des invasiv gemessenen Blutdrucks eine therapeutische Intervention durchführte. Hier waren verschiedene Modelle als Entscheidungsgrundlage möglich. Zum einen konnte der invasive Blutdruck so von dem non-invasiven Wert abweichen, dass daraus eine therapeutische Konsequenz folgte. Wenn man beispielsweise den akuten Schlaganfall als häufig in der Präklinik vorkommendes Krankheitsbild betrachtet, so ist hier eine leitlinienkonforme Blutdrucksenkung ab einem Wert von 220mmHg systolisch empfohlen [33].

Ein non-invasiver Blutdruck von beispielsweise 190mmHg würde hier keine und ein invasiver von 225mmHg würde eben eine therapeutische Konsequenz haben. Dieses Beispiel wäre nach den in dieser Studie gemessenen Differenzen so durchaus denkbar.

In der vorliegenden Studie wurde bei 21 (46,7%) von 45 Patienten und von allen 229 Messpaaren 43 Mal (18,8%) aufgrund des gemessenen invasiven Blutdrucks therapeutisch interveniert. 48,8% der therapeutischen Interventionen

wurden bei nicht-messbarem manuellen Blutdruck durchgeführt. Damit scheint bei kritisch kranken und verletzten Patienten die invasive Blutdruckmessung öfters und zuverlässiger den Bedarf therapeutischer Intervention anzuzeigen und gestattet die Therapie adäquat zu überwachen.

In der Literaturrecherche wurden zur Häufigkeit von Interventionen aufgrund der präklinischen invasiven Blutdruckmessung keine Angaben gefunden.

Betrachtet man die Interventionen innerhalb festgelegter Blutdruckbereiche, so zeigten sich in der vorliegenden Arbeit die meisten Interventionen im Bereich von 61-140mmHg systolisch mit 51,2% aller Interventionen. Im systolischen Blutdruckbereich von 0-60mmHg waren es 11,6% und im Bereich über 140mmHg 37,2%. Hier wurde mit einer höheren Anzahl an therapeutischen Interventionen im systolischen Blutdruckbereich bis 61mmHg gerechnet. Dass sich dies so nicht bestätigte, war am ehesten dadurch zu erklären, dass in 48,8% der Interventionen eine Therapie mit Katecholaminen durchgeführt wurde und diese bei Hypotension invasiv gesteuert in Richtung Normotonie überführt wurde.

## **4.4 Point-Of-Care Labor**

### **4.4.1 Praktischer Einsatz des Blutgas-Messgerätes**

Herr et al. [16] belegten bereits in einer präklinischen Studie auf Rettungshubschraubern, dass die Verwendung eines Blutdruckmessgerätes im Rettungsdienst keine erkennbaren Differenzen zur klinischen Labordiagnostik zeigt. Das Gerät ist zum präklinischen Einsatz geeignet.

Zur kälteren Jahreszeit gab es bei der Durchführung der Studie das Problem, dass das Gerät nicht messbereit war, da es nur in einem bestimmten Temperaturbereich arbeitet. Dies wurde dadurch behoben, dass das Gerät im Notarzteinsatzfahrzeug stets warmgehalten wurde. Die Kartuschen sollten vor Gebrauch auf Raumtemperatur gebracht werden, weshalb sie teilweise am Körper getragen wurden oder im Notarzteinsatzfahrzeug bei Raumtemperatur gelagert waren.

Das hier verwendete Blutgasmessgerät wurde bei der Durchführung der Studie als zuverlässiges Point-Of-Care-System kennengelernt. Die Einführung eines

solchen Systems hat den Vorteil, dass man zur Bedienung und somit den schnellen Überblick über Blutgase und ausgewählte Laborparameter kein Laborpersonal braucht. Weiterhin ist das POC-Testing eben patientennah und schnell durchzuführen. Das Point-Of-Care Testing kann somit den Notarzt in der Präklinik bei der Diagnosestellung und Therapie unterstützen.

Kapoor et al. [23] zeigten in ihrem Review ebenfalls, dass das POC-Testing in der Notfallmedizin sehr gut eingesetzt werden kann, um schnell verfügbare Informationen über die Blutgase und Elektrolyte zu bekommen. So können die therapeutischen Entscheidungen maßgeblich beeinflusst und das Outcome der Patienten verbessert werden.

#### **4.4.2 Verwendete Kanüle zur arteriellen Punktion**

Bei 71,1% der Studienpatienten wurde eine FloSwitch® Kanüle verwendet. Diese wird regelhaft in der Universitätsklinik Marburg von den Mitarbeitern der Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie verwendet. Die zahlreiche Verwendung dieser Kanüle in der vorliegenden Studie lässt sich durch den hohen Anteil der Anästhesisten erklären. Hier waren 40 der 73 Notärzte Anästhesisten (Stand April 2009, Quelle: Zentrum für Notfallmedizin, Universitätsklinikum Gießen und Marburg, Standort Marburg). Sie sind im Umgang mit der FloSwitch® Kanüle, dem arteriellen Messsystem und der Blutgasanalyse bestens vertraut.

#### **4.4.3 Kritische Messwertüberschreitungen**

Bei 58 präklinisch durchgeführten POC-Labors wurden 682 Werte erhoben, von denen 307 (45,0%) außerhalb der in dieser Studie definierten Toleranzgrenzen lagen. Dieses Ergebnis lässt sich durch die vorgegebenen Einschlusskriterien erklären. Es wurden nur schwer schwerkranke und –verletzte Patienten in diese Studie eingeschlossen.

#### **4.4.4 Point-Of-Care-Labor bei Reanimation**

In unserem Kollektiv hatten wir zehn Patienten, bei denen unter Reanimationsbedingungen Blutgasanalysen zur pH-Wert Bestimmung

durchgeführt worden sind. Bei allen Patienten lag eine Azidose vor, der durchschnittliche pH-Wert unserer Studienpatienten lag bei 7,01.

50% dieser Patienten erhielten auf der Grundlage der Blutgasanalyse eine gezielte Gabe von Natriumbikarbonat durch den Notarzt. Der durchschnittliche pH-Wert bei diesen Patienten stieg auf 7,17 nach Pufferung.

Die präklinische Blutgasanalyse ist im Rahmen der präklinischen Reanimation dazu geeignet, das Ausmaß der Azidose aufzuzeigen und ermöglicht so die gezielte Pufferung.

Prause et al. [34, 36] untersuchten den Stellenwert der präklinischen Blutgasanalyse bei 26 Patienten mit kardiopulmonaler Reanimation. Bei 23 Patienten lag eine schwere Azidose vor, die auf der Grundlage der Blutgasanalyse mit Natriumbikarbonat behandelt wurde. In ihrer Studiengruppe war der durchschnittliche pH-Wert 7,09. Nach Meinung von Prause et al. gibt es einen grundsätzlichen Nutzen der Blutgasanalyse im Rahmen der präklinischen Reanimation, zudem kann die Pufferung durch die BGA gezielt erfolgen.

Topjian et al. [51] zeigten in ihrem Review bei Patienten mit Herz-Kreislauf-Stillstand und erfolgreicher Reanimation, dass insbesondere die Einstellung der Kreislaufparameter und der Beatmung mit Normotension, Normoxämie und Normokapnie helfen kann sekundäre Organschäden zu vermeiden und so das Outcome zu verbessern.

#### **4.4.5 Arterio-endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Differenz**

In unserer Studie haben wir PaCO<sub>2</sub> mit etCO<sub>2</sub> bei schwerkranken und schwerverletzten Patienten verglichen. Es zeigte sich eine hohe arterio-endexpiratorische Differenz von durchschnittlich 17,23mmHg ( $\pm$ SD 12,85 mmHg). Der Korrelationskoeffizient zwischen PaCO<sub>2</sub> und etCO<sub>2</sub> war 0,704 ( $p < 0,0005$ ). Innerhalb der „limits of agreement“ unterschätzt in der vorliegenden Studie das gemessene etCO<sub>2</sub> den PaCO<sub>2</sub> um bis zu 43mmHg und überschätzt den PaCO<sub>2</sub> um bis zu acht mmHg.

Die vorliegende Studie zeigt, dass die endtidale CO<sub>2</sub>-Messung bei kritischen Patienten im Rettungsdienst ungenaue Werte liefert und somit die Einstellung der Beatmungsparameter anhand des etCO<sub>2</sub> fragwürdig ist. Der Einsatz der Kapnographie zur Einstellung des Respirators bei schwerkranken und

schwerverletzten Patienten in der Präklinik ist der Einstellung auf Grundlage der Blutgasanalyse unterlegen.

In vielen Studien gibt es ähnliche Ergebnisse zur arterio-endexpiratorischen Differenz. So zeigten Wahba und Tessler [53] in einem Review, dass eine höhere arterio-endexpiratorische Differenz gefunden werden kann bei Patienten während großen chirurgischen Eingriffen, bei älteren Patienten, mit zunehmendem ASA-Score und bei hämodynamisch instabilen Patienten. Diese Arbeitsgruppe wies nach, dass das  $\text{etCO}_2$  nicht immer die Größe und Richtung einer Veränderung des  $\text{PaCO}_2$  verlässlich anzeigt.

Prause et al.[35] forderten, dass bei präklinisch intubierten und beatmeten Patienten zur Respiratoreinstellung mindestens eine Blutgasanalyse durchzuführen ist. Sie bestimmten die arterio-endexpiratorische Differenz bei ihren 27 Studienpatienten mit durchschnittlich 21mmHg. Es bestand keine signifikante Korrelation zwischen  $\text{PaCO}_2$  und  $\text{etCO}_2$ . Unter ihren 27 Patienten waren 12 mit kardiopulmonaler Reanimation (mittlere arterio-endexpiratorische  $\text{CO}_2$ -Differenz von 26mmHg), sechs mit respiratorischen Störungen kardialen Ursprungs (mittlere arterio-endexpiratorische  $\text{CO}_2$ -Differenz von 18mmHg) und elf mit extrapulmonalen respiratorischen Störungen (mittlere arterio-endexpiratorische  $\text{CO}_2$ -Differenz von 6mmHg). Nur in der Gruppe der Patienten mit extrapulmonalen Störungen zeigte sich eine Korrelation zwischen  $\text{etCO}_2$  und  $\text{PaCO}_2$ , welche jedoch nicht signifikant war. Auch diese Arbeitsgruppe postulierte, dass die Respiratoreinstellung auf Grundlage der Kapnometrie nicht zuverlässig ist. Dies sei nur möglich bei Patienten mit Erkrankungen ohne primär kardiale oder pulmonale Ursache.

Ensle [10] untersucht in seiner Studie die arterio-endexpiratorische  $\text{CO}_2$ -Differenz bei beatmeten Patienten im Rettungsdienst. Hier wurde bei 51 Patienten das  $\text{PaCO}_2$  mit dem  $\text{etCO}_2$  verglichen. Eingeschlossen wurden Patienten aus Primär- sowie Sekundäreinsätzen. Am Ende des jeweiligen Transports wurde zeitgleich der  $\text{etCO}_2$  notiert und eine Blutgasanalyse des Patienten abgenommen. Diese wurde dann innerhalb von 30 Minuten im aufnehmenden Krankenhaus analysiert. In diesem Studienkollektiv fand sich eine arterio-endexpiratorische Differenz von  $7,26 \pm 6,09\text{mmHg}$  (Mittelwert $\pm$ SD) mit einer Spannbreite von -3,8 bis 26mmHg. Die Patienten mit Lungenerkrankungen hatten eine signifikant höhere  $\text{CO}_2$ -Differenz. Sie

folgerten aus ihrer Studie, dass auf Grund der Höhe und Varianz der CO<sub>2</sub>-Differenz die Steuerung der Beatmung bei Notfallpatienten nicht möglich ist.

Der Unterschied in der CO<sub>2</sub>-Differenz zu der hier vorliegenden Studie erklärt sich dadurch, dass Ensle et al. auch Patienten auf Sekundärtransporten mit eingeschlossen haben. Außerdem wurden kreislaufinstabile Patienten ausgeschlossen. In der hier vorliegenden Arbeit war dies kein Ausschlussgrund. Im Gegenteil, es wurden allein zehn Patienten unter kardiopulmonaler Reanimation eingeschlossen.

Seguin et al. [46] zeigten in ihrer Arbeit, dass die arterio-endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Differenz bei Patienten mit schwerem SHT im Mittel bei 5,5mmHg liegt. Bei 21 Patienten erfolgten insgesamt 90 vergleichende Messungen von PaCO<sub>2</sub> und etCO<sub>2</sub>. Hier zeigte sich in 20% der Messungen, dass die Richtung der Änderung des PaCO<sub>2</sub> durch die Kapnometrie falsch vorhergesagt wurde. Dies zeigten weiterhin auch Russell et al.[42] mit einer Höhe von 32% bei neurologischen und neurochirurgischen Patienten ohne wesentliche pulmonale Vorerkrankungen. Die arterio-endexpiratorische Differenz lag bei  $6,9 \pm 4,4$ mmHg (mean $\pm$ SD).

Lee et al. [25] untersuchten die arterio-endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Differenz bei insgesamt 77 Patienten mit schwerem SHT. Hier konnte gezeigt werden, dass Patienten mit einer hohen arterio-endexpiratorischen Differenz einen signifikant höheren Injury-Severity-Score (ISS), niedrigeren systolischen Blutdruck, niedrigeren arteriellen pH, niedrigeres Basendefizit und höhere Serumlactatspiegel als Patienten mit normalem arterio-enexpiratorischer Differenz hatten.

Auch Ferber et al. [11] zeigten die Notwendigkeit der PaCO<sub>2</sub> gesteuerten Respiratoreinstellung bei neurochirurgischen Patienten. Sie untersuchten intraoperativ die arterio-endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Differenz bei insgesamt 45 Patienten mit schwerem SHT, die innerhalb von acht Stunden nach dem Trauma wegen intrakraniellern Hämatom operiert werden mussten. Die vergleichenden Messungen wurden während der Operation nach Erreichen eines stabilen etCO<sub>2</sub> Wertes durchgeführt. Hier zeigte sich eine durchschnittliche arterio-endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Differenz von  $5 \pm 6$ mmHg (mean  $\pm$  SD). Auch hier wurde eine erhebliche Varianz unter dem Studienkollektiv festgestellt. Sie folgerten aus ihren Ergebnissen, dass das



etCO<sub>2</sub> während akuten Kraniotomien bei schwerem SHT das PaCO<sub>2</sub> nicht korrekt widerspiegelt und die Respiratoreinstellung anhand des PaCO<sub>2</sub> zu erfolgen hat. Über die Vorerkrankungen der Patienten wurde hier keine Aussage getroffen.

#### **4.4.6 Therapeutische Interventionen auf Grundlage der Blutgasanalyse**

In dieser Studie wurde bei 21 (63,6%) der 33 Studienpatienten eine therapeutische Intervention durchgeführt. Insgesamt wurden 30 Interventionen durchgeführt (0,9 Interventionen pro Patient). Diese Interventionen erfolgten ausschließlich auf der Grundlage der Ergebnisse der BGA. Allein in 16 Fällen wurde die Einstellung am Respirator verändert oder eine Respiratortherapie begonnen. In zehn Fällen wurde anhand des POC-Tests die gezielte Puffertherapie durchgeführt.

Vergleichende präklinische Studien zu der Häufigkeit von Interventionen auf der Grundlage der Blutgasanalyse bzw. des POC-Tests finden sich nicht. In anderen präklinischen Studien wurden nur die Interventionen beschrieben und untersucht, jedoch nicht deren Häufigkeit bei kritisch Kranken. Vielmehr wurden spezifische Patientenkollektive zu einer bestimmten Fragestellung untersucht.

Die Blutgasanalyse ist als „Goldstandard“ zur Überwachung des Gasaustausches und damit zur Respiratoreinstellung in der Klinik und mittlerweile auch im Interhospitaltransfer etabliert. Sie wird dabei als unverzichtbar eingestuft [24]. Zudem ist die Überwachung des Säure-Basen-Haushaltes nur durch die direkte Messung mittels BGA möglich [30].

Als Limitation der vorliegenden Studie muss das Studiendesign der Anwendungsbeobachtung ohne Randomisierung genannt werden, durch das eine Selektion möglicherweise schwerer erkrankter Notfallpatienten generiert wurde. Auch ist aufgrund der reinen Anwendungsbeobachtung nicht die absolute Häufigkeit interventionswürdiger Befunde feststellbar, da die Anzahl nicht eingeschlossener Notfallpatienten nicht erfasst wurde. Dies schmälert jedoch nicht die Bedeutung der teilweise sehr stark von Normwerten

abweichenden Parameter im untersuchten Kollektiv, die unmittelbar auch lebensrettende Interventionen zur Folge hatten.

#### **4.5 Ausblick in die Zukunft**

Die vorliegenden Ergebnisse bilden zusammen mit anderen Literaturdaten die Grundlage für weitere klinische Untersuchungen.

Ergänzend zu den vorliegenden Daten ist in weiteren klinischen Studien zu klären, inwieweit die Erhöhung der Patientensicherheit den Zeitaufwand zur Anlage der invasiven Blutdruckmessung bei kritisch kranken oder verletzten Patienten rechtfertigt.

Auf der Grundlage unserer Studienergebnisse erfolgte bereits beim Rettungsdienst Mittelhessen für alle Notarzteinsatzfahrzeuge die Anschaffung von Blutgasanalysegeräten und modernen EKG-Geräten mit der Möglichkeit der invasiven Blutdruckmessung. Hier wird sicherlich mit einer weiteren Verbreitung auch in anderen Rettungsdienstbereichen zu rechnen sein, auch aufgrund von fallenden Herstellerpreisen und immer weiter voranschreitendem Konkurrenzdruck.

## 5 Zusammenfassung

Die Wiederherstellung und Überwachung stabiler Kreislaufverhältnisse ist eine der wichtigsten Aufgaben der präklinischen Notfallmedizin. Hier kommt der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Blutdruckmessung besondere Bedeutung zu. Intermittierende, ungenaue und nicht durchführbare Blutdruckmessungen wirken sich zum Nachteil des Patienten aus. Die Blutgasanalyse erlaubt wichtige Rückschlüsse auf Kreislauffunktion, Lungenperfusion, Ventilation und Oxygenierungsstatus der Patienten und ermöglicht die Quantifizierung einer Verschiebung im Säure-Base-Haushalt.

In der vorliegenden Arbeit wurde bei 45 schwerkranken und schwerverletzten Patienten mit einem NACA Score von mindestens V die Messgenauigkeit der non-invasiven, diskontinuierlichen, manuellen Blutdruckmessung mit der invasiven, kontinuierlichen Blutdruckmessung mit Hilfe des Verfahrens von Bland und Altman verglichen. Zusätzlich wurden durch Blutgasanalysen die Häufigkeit und das Ausmaß von pathologischen Werten evaluiert und die arterio-endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Differenz bestimmt. Bei beiden Verfahren wurde die Häufigkeit der therapeutischen Interventionen dokumentiert.

Es konnte gezeigt werden, dass der non-invasive Blutdruck bei kritisch kranken und verletzten Patienten ungenau ist. Die Messungenauigkeit zwischen systolischem IBP und NIBP war  $21 \pm 27 \text{ mmHg}$  (mean  $\pm$  SD). Bei 46,6% der Studienpatienten wurde auf Grundlage des invasiv gemessenen Blutdrucks therapeutisch interveniert. 48,8% dieser therapeutischen Interventionen erfolgten bei nicht messbarem non-invasivem Blutdruck. Die non-invasive Blutdruckmessung zeigt hypotensive Phasen nicht sicher oder erst verzögert an. Zudem verlängern sich durch erfolglose Messversuche die Intervalle zwischen zwei Messungen. Damit ist insbesondere bei Hypotension die invasive Blutdruckmessung bei Notfallpatienten der non-invasiven überlegen und erhöht somit die Patientensicherheit.

Eine Blutgasanalyse konnte bei 33 Studienpatienten durchgeführt werden. Insgesamt konnten so 58 Blutgasanalysen durchgeführt werden. Es zeigte sich im Studienkollektiv bei 97% der Patienten mindestens ein pathologischer Wert. Therapeutische Interventionen auf der Grundlage der Blutgasanalyse erfolgten bei 63,6% der Patienten. Ebenso konnte bei 66,7% der Patienten eine Störung des Säure-Basen-Haushaltes gezeigt und quantifiziert werden. In unserem

Studienkollektiv zeigte sich die arterio-endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Differenz mit einer großen Streuung. Die mittlere arterio-endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Differenz aller untersuchten Patienten war 17,23mmHg ±12,85mmHg (mean±SD).

Die invasive Blutdruckmessung ist dazu geeignet, insbesondere bei hämodynamisch instabilen kritisch kranken und verletzten Patienten im Rettungsdienst den Blutdruck kontinuierlich und genau abzubilden und so die Sicherheit der Notfallpatienten zu erhöhen. Bei kritisch kranken und verletzten Patienten ist die invasive Blutdruckmessung öfters und zuverlässiger dazu in der Lage, den Bedarf therapeutischer Intervention anzuzeigen und gestattet die Therapie adäquat zu überwachen. Die invasive Blutdruckmessung kann in der Präklinik einfach und sicher angewendet werden.

Bei kritischen Patienten im Rettungsdienst ist durch etCO<sub>2</sub> kein Rückschluss auf das „tatsächliche“ PaCO<sub>2</sub> möglich, sondern muss durch eine Blutgasanalyse bestimmt werden. Die Kapnographie ist somit nicht mit ausreichender Genauigkeit dazu in der Lage, die Qualität der Beatmung anzuzeigen. Die Respiratoreinstellung bei kritischen Patienten in der Präklinik anhand des etCO<sub>2</sub> ist somit aus unserer Sicht fragwürdig. Bei kritisch kranken und verletzten Patienten sollte die Respiratoreinstellung durch regelmäßige Blutgasanalysen überwacht werden. Die bettseitige Bestimmung vitaler Laborparameter macht auch im Rettungsdienst wertvolle Informationen für die differenzierte Notfalltherapie zugänglich. Insbesondere bei der Reanimation kann durch die Blutgasanalyse die zumeist bestehende Azidose quantifiziert und gezielt behandelt werden.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Belpomme V, Ricard-Hibon A, Devoir C et al. (2005) Correlation of arterial PCO<sub>2</sub> and PETCO<sub>2</sub> in prehospital controlled ventilation. *Am J Emerg Med* 23:852-859.
2. Bernhard M (2006) Patientenspektrum im Notarzteinsatz Was hat sich in den letzten 20 Jahren geändert? *Anaesthesist* 55:1157-1165.
3. Bland JM, Altman DG (2007) Agreement between methods of measurement with multiple observations per individual. *Journal of biopharmaceutical statistics* 17:571-582.
4. Bland JM, Altman DG (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1:307-310.
5. Breit SN, O'Rourke MF (1974) Comparison of direct and indirect arterial pressure measurements in hospitalized patients. *Aust N Z J Med* 4:485-491.
6. Bullock MR, Chesnut R, Ghajar J (2006) Guidelines for the surgical management of traumatic brain injury. *Neurosurgery* 58:(Suppl):S 1-S 60
7. Chesnut RM, Marshall SB, Piek J et al. (1993) Early and late systemic hypotension as a frequent and fundamental source of cerebral ischemia following severe brain injury in the Traumatic Coma Data Bank. *Acta Neurochir Suppl (Wien)* 59:121-125.
8. Davis RF (1985) Clinical comparison of automated auscultatory and oscillometric and catheter-transducer measurements of arterial pressure. *J Clin Monit* 1:114-119.
9. Dueck R, Jameson LC (2006) Reliability of hypotension detection with noninvasive radial artery beat-to-beat vs upper arm cuff BP monitoring. *Anesth Analg* 102 Suppl.:S10.
10. Ensle G (1998) Arterio-endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Differenz bei beatmeten Patienten in der Notfallmedizin. *Notfall und rettungsmedizin* 1:347-354.
11. Ferber J, Juniewicz HM, Lechowicz-Glogowska EB et al. (2001) Arterial to end-tidal carbon dioxide difference during craniotomy in severely head-injured patients. *Folia Med Cracov* 42:141-152.
12. Gourdeau M, Martin R, Lamarche Y et al. (1986) Oscillometry and direct blood pressure: a comparative clinical study during deliberate hypotension. *Can Anaesth Soc J* 33:300-307.
13. Green M, Paulus DA, Roan VP et al. (1984) Comparison between oscillometric and invasive blood pressure monitoring during cardiac surgery. *Int J Clin Monit Comput* 1:21-26.
14. Hardman JG, Aitkenhead AR (2003) Estimating alveolar dead space from the arterial to end-tidal CO<sub>2</sub> gradient: a modeling analysis. *Anesth Analg* 97:1846-1851.
15. Helm M, Hauke J, Lampl L (2002) A prospective study of the quality of pre-hospital emergency ventilation in patients with severe head injury. *Br J Anaesth* 88:345-349.
16. Herr DM, Newton NC, Santrach PJ et al. (1995) Airborne and rescue point-of-care testing. *Am J Clin Pathol* 104:54-58.
17. Hetz H, Prause G, Tesar H et al. (1996) Preclinical blood gas analysis. Technical description-initial experiences-indications. *Anaesthesist* 45:750-754.

18. Hinkelbein J, Floss F, Denz C et al. (2008) Accuracy and precision of three different methods to determine Pco<sub>2</sub> (Paco<sub>2</sub> vs. Petco<sub>2</sub> vs. Ptcco<sub>2</sub>) during interhospital ground transport of critically ill and ventilated adults. *J Trauma* 65:10-18
19. Holland WW, Humerfelt S (1964) Measurement of Blood-Pressure: Comparison of Intra-Arterial and Cuff Values. *Br Med J* 2:1241-1243.
20. Hunt RC, Allison EJ, Jr., Whitley TW et al. (1985) Comparison of EMT blood pressure measurements with an automated blood pressure monitor: on scene, during transport, and in the emergency department. *Ann Emerg Med* 14:871-875.
21. Ilies C, Bauer M, Berg P et al. (2012) Investigation of the agreement of a continuous non-invasive arterial pressure device in comparison with invasive radial artery measurement. *Br J Anaesth* 108:202-210.
22. Jones NL, Robertson DG, Kane JW (1979) Difference between end-tidal and arterial PCO<sub>2</sub> in exercise. *J Appl Physiol* 47:954-960.
23. Kapoor D, Srivastava M, Singh P (2014) Point of care blood gases with electrolytes and lactates in adult emergencies. *Int J Crit Illn Inj Sci* 4:216-222.
24. Kill C, Barwing J, Lennartz H (1999) Blood gas analysis in interhospital transfer--a useful extension of respiratory monitoring? *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 34:10-16.
25. Lee SW, Hong YS, Han C et al. (2009) Concordance of end-tidal carbon dioxide and arterial carbon dioxide in severe traumatic brain injury. *J Trauma* 67:526-530.
26. Low RB, Martin D (1988) Accuracy of blood pressure measurements made aboard helicopters. *Ann Emerg Med* 17:604-612
27. Maas AI, Dearden M, Servadei F et al. (2000) Current recommendations for neurotrauma. *Curr Opin Crit Care* 6:281-292.
28. Moeke HP, Knuth P (1990) Neue Generation von arztbesetzten Rettungsmitteln: Die adäquate Geräteausstattung. *Notfallmedizin* 16:138-142.
29. Morley AP (1996) Prehospital monitoring of trauma patients: experience of a helicopter emergency medical service. *Br J Anaesth* 76:726-730
30. Müller E, Knoch M (1988) Marburger Transportsystem für Intensivpatienten. *Notfallmedizin* 14:55-58.
31. Pasch T (1995) Kapnometrie und Kapnographie. In: List WF, Metzler H, Pasch T (Hrsg) *Monitoring in der Anästhesie und Intensivmedizin*, Springer, Berlin: S 337-366.
32. Pickering TG, Hall JE, Appel LJ et al. (2005) Recommendations for blood pressure measurement in humans and experimental animals: Part 1: blood pressure measurement in humans: a statement for professionals from the Subcommittee of Professional and Public Education of the American Heart Association Council on High Blood Pressure Research. *Hypertension* 45:142-161.
33. Powers WJ, Derdeyn CP, Biller J et al. (2015) American Heart Association/American Stroke Association Focused Update of the 2013 Guidelines for the Early Management of Patients With Acute Ischemic Stroke Regarding Endovascular Treatment: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* 46(10):3020-35. doi: 10.1161/STR.0000000000000074. Epub 2015 Jun 29.

34. Prause G, Hetz H, Doppler R (1998) Preclinical blood gas analysis. 1. The value of preclinical blood gas analysis. *Anaesthesist* 47:400-405
35. Prause G, Hetz H, Lauda P et al. (1997) A comparison of the end-tidal-CO<sub>2</sub> documented by capnometry and the arterial pCO<sub>2</sub> in emergency patients. *Resuscitation* 35:145-148.
36. Prause G, Kaltenbock F, Doppler R (1998) [Preclinical blood gas analysis. 2. Experience with three blood gas analyzers in emergency care]. *Anaesthesist* 47:490-495.
37. Prause G, Ratzenhofer-Komenda B, Offner A et al. (1997) Prehospital point of care testing of blood gases and electrolytes - an evaluation of IRMA. *Crit Care* 1:79-83.
38. Procaccio F (1998) [Strategy for intensive care in patients with subarachnoid hemorrhage]. *Minerva Anesthesiol* 64:207-208
39. Roberts LN, Smiley JR, Manning GW (1953) A comparison of direct and indirect blood-pressure determinations. *Circulation* 8:232-242.
40. Roizen MF, Schreider B, Austin W et al. (1993) Pulse oximetry, capnography, and blood gas measurements: reducing cost and improving the quality of care with technology. *J Clin Monit* 9:237-240.
41. Runcie CJ, Reeve WG, Reidy J et al. (1990) Blood pressure measurement during transport. A comparison of direct and oscillotonometric readings in critically ill patients. *Anaesthesia* 45:659-665.
42. Russell GB, Graybeal JM (1992) End-tidal carbon dioxide as an indicator of arterial carbon dioxide in neurointensive care patients. *J Neurosurg Anesthesiol* 4:245-249.
43. Rutten AJ, Ilsley AH, Skowronski GA et al. (1986) A comparative study of the measurement of mean arterial blood pressure using automatic oscillometers, arterial cannulation and auscultation. *Anaesth Intensive Care* 14:58-65.
44. Ryan TP, Woodall WH (2005) The most-cited statistical papers. *J Appl Stat* 32:461-474.
45. Sanders AB (1989) Capnometry in emergency medicine. *Ann Emerg Med* 18:1287-1290.
46. Seguin P, Bleichner JP, Branger B et al. (2001) The measurement of end-tidal carbon dioxide (PETCO<sub>2</sub>) is not a significant parameter to monitor in patients with severe traumatic brain injury. *Can J Anaesth* 48:396-400.
47. Seldinger SI (1953) Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography; a new technique. *Acta radiologica* 39:368-376
48. Shoemaker WC, Belzberg H, Wo CC et al. (1998) Multicenter study of noninvasive monitoring systems as alternatives to invasive monitoring of acutely ill emergency patients. *Chest* 114:1643-1652.
49. Sprung J, Warner ME, Contreras MG et al. (2003) Predictors of survival following cardiac arrest in patients undergoing noncardiac surgery: a study of 518,294 patients at a tertiary referral center. *Anesthesiology* 99:259-269.
50. Steg G, James SK, Atar D et al. (2012) ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation. *Eur Heart J* 33:2569-2619.

51. Topjian AA, Berg RA, Taccone FS (2015) Haemodynamic and ventilator management in patients following cardiac arrest. *Curr Opin Crit Care* 21:195-201
52. Tryba M, Brüggemann H, Echtermeyer V (1980) Klassifizierung von Erkrankungen und Verletzungen in Notarztsystemen. *Notfallmedizin* 6:725-727.
53. Wahba RW, Tessler MJ (1996) Misleading end-tidal CO<sub>2</sub> tensions. *Can J Anaesth* 43:862-866.
54. Wallace PG, Ridley SA (1999) ABC of intensive care. Transport of critically ill patients. *Bmj* 319:368-371.
55. Warner KJ, Cuschieri J, Copass MK et al. (2008) Emergency department ventilation effects outcome in severe traumatic brain injury. *J Trauma* 64:341-347.
56. Warner KJ, Cuschieri J, Copass MK et al. (2007) The impact of prehospital ventilation on outcome after severe traumatic brain injury. *J Trauma* 62:1330-1336; discussion 1336-1338.
57. Winchell RJ, Simons RK, Hoyt DB (1996) Transient systolic hypotension. A serious problem in the management of head injury. *Arch Surg* 131:533-539; discussion 539.
58. Wiss. Arbeitskreis Neuroanästhesie der DGAI (2001) Leitlinie Polytrauma. *Akt Traumatol* 31:44-54.



## 7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: NACA-Score nach Tryba .....	10
Abbildung 2: Corpuls 08/16 .....	11
Abbildung 3: Drucker, Blutgasanalysegerät und Kartusche EG 7+ .....	15
Abbildung 4: Leader-Cath.....	16
Abbildung 5: Careflow-Katheterset.....	17
Abbildung 6: FloSwitch-Kanüle.....	17
Abbildung 7: Anzahl der Notärzte aus den einzelnen Kliniken im Jahr 2007 ....	19
Abbildung 8: Material zur invasiven Blutdruckmessung und Blutgasanalyse auf dem NEF.....	20
Abbildung 9: Seldinger-Technik.....	23
Abbildung 10: Druckbeutel mit Spüllösung .....	25
Abbildung 11: Verbindung des arteriellen Messsystems mit dem Druckbeutel .....	25
Abbildung 12: Entlüftung des Messsystems .....	25
Abbildung 13: Aufpumpen des Druckbeutels auf 300mmHg .....	25
Abbildung 14: Punktion der linken A. radialis unter Palpation .....	26
Abbildung 15: Bei Punktion der Arterie fließt Blut in die Kanüle .....	26
Abbildung 16: Punktion der Arteria radialis.....	26
Abbildung 17: Überprüfung der intraarteriellen Lage.....	26
Abbildung 18: Herausnahme des Stahlmandrins. Pulsierendes Blut zeigt die arterielle Lage an .....	26
Abbildung 19: Fertige Anlage des arteriellen Zugangs.....	26
Abbildung 20: Kalibrierung des Gerätes .....	27
Abbildung 21: Arterielle Messkurve .....	27
Abbildung 22: Spülkurve.....	27
Abbildung 23: Entnahme einer Probe für die Blutgasanalyse .....	27
Abbildung 24: Spülen der arteriellen Leitung mit NaCl .....	27
Abbildung 25: Vorbereitung der Kartusche.....	28
Abbildung 26: Befüllung der Kartusche mit der Blutprobe .....	28
Abbildung 27: Verschliessen der Kartusche .....	28
Abbildung 28: Einführung der Kartusche ins BGA Gerät.....	28
Abbildung 29: Das BGA Gerät zeigt die Messergebnisse an .....	28
Abbildung 30: Geschlechterverteilung .....	31

Abbildung 31: Altersverteilung .....	32
Abbildung 32: Diagnosen.....	32
Abbildung 33 Einteilung der Patienten nach NACA-Score .....	33
Abbildung 34: Übersicht über die verwendete Kanüle zur arteriellen Punktion ..	34
Abbildung 35: Streudiagramm mit allen systolischen Messwerten von IBP und NIBP .....	35
Abbildung 36: Streudiagramm mit allen diastolischen Messwerten von IBP und NIBP .....	36
Abbildung 37: Streudiagramm mit systolischem IBP und NIBP zum Zeitpunkt T 1.....	36
Abbildung 38: Streudiagramm mit diastolischem IBP und NIBP zum Zeitpunkt T 1.....	37
Abbildung 39: Streudiagramm mit systolischem IBP und NIBP zum Zeitpunkt T End .....	38
Abbildung 40: Streudiagramm mit diastolischem IBP und NIBP zum Zeitpunkt T End .....	38
Abbildung 41: Bland-Altman-Plot für den systolischen Blutdruck aller Messpaare .....	39
Abbildung 42: Bland-Altman-Plot für den diastolischen Blutdruck aller Messpaare .....	40
Abbildung 43: Bland-Altman-Plot für den systolischen Blutdruck zum Messzeitpunkt T 1.....	41
Abbildung 44: Bland-Altman-Plot für den systolischen Blutdruck zum Messzeitpunkt.....	42
Abbildung 45: Bland-Altman-Plot für den diastolischen Blutdruck zum Messzeitpunkt T 1.....	43
Abbildung 46: Bland-Altman-Plot für den diastolischen Blutdruck zum Messzeitpunkt.....	44
Abbildung 47: Nicht messbare systolische non-invasiven Blutdruckwerte bei messbarem invasiven Blutdruck zum Zeitpunkt T 1 .....	46
Abbildung 48: Anzahl der Interventionen in den angegebenen invasiv gemessenen systolischen Blutdruckbereichen .....	47
Abbildung 49: Anzahl und Art der Interventionen .....	48
Abbildung 50: Normal- und pathologischen Messwerte .....	50

Abbildung 51: PaO <sub>2</sub> zu den Messpunkten T 1-3.....	53
Abbildung 52: PaCO <sub>2</sub> zu den Messpunkten T1-3.....	53
Abbildung 53: pH im zu den Messpunkten T1-3.....	54
Abbildung 54: Bikarbonat zu den Messpunkten T 1-3.....	54
Abbildung 55: Base Excess (BE) zu den Messpunkten T1-3 .....	55
Abbildung 56: Hämoglobin zu den Messpunkten T 1-3.....	55
Abbildung 57: Hämatokrit zu den Messpunkten T 1-3.....	56
Abbildung 58: Natrium zu den Messpunkten T 1-3.....	56
Abbildung 59: Kalium zu den Messpunkten T 1-3 .....	57
Abbildung 60: Ionisiertes Calcium zu den Messpunkten T 1-3.....	57
Abbildung 61: Sauerstoffsättigung zu den Messpunkten T 1-3 .....	58
Abbildung 62: Totales Kohlendioxid zu den Messpunkten T 1-3.....	58
Abbildung 63: Bland-Altman-Plot PaCO <sub>2</sub> und etCO <sub>2</sub> .....	61
Abbildung 64: Therapeutische Interventionen auf Grundlage der Blutgasanalyse .....	63
Abbildung 65: pH-Werte der Reanimationsgruppe vor und nach Pufferung .....	64
Abbildung 66: Fall1; zeitlicher Verlauf von IBP, pH und AMV sowie die therapeutischen Interventionen (Pfeile 1-3).....	66
Abbildung 67: Fall2; zeitlicher Verlauf von IBP systolisch, NIBP systolisch und Kalium sowie die therapeutischen Interventionen (Pfeile 1-3)....	67
Abbildung 68 Fall3; zeitlicher Verlauf von PaCO <sub>2</sub> , etCO <sub>2</sub> und des AMV sowie die therapeutischen Interventionen (Pfeile 1-3).....	68

## 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gemessene Werte der EG7+ Kartusche und deren Referenzbereiche .....	14
Tabelle 2: Berechnete Werte der EG7+ Kartusche und deren Referenzbereiche .....	15
Tabelle 3: Häufigkeit der Nicht-Messbarkeit des non-invasiven Blutdrucks bei vorhandenem invasiven Blutdruck.....	45
Tabelle 4: Interventionsgrenzen .....	49
Tabelle 5: Maximale, minimale und durchschnittliche Messwerte der Blutgasanalyse zu T1 und TEnd während der Patientenversorgung.....	52
Tabelle 6: Festgelegte Toleranzbereiche der POC-Analyse, Anzahl der Messwertabweichungen und Anzahl der Patienten außerhalb der Toleranzbereiche .....	59
Tabelle 7: Arterio-endexpiratorische Differenz.....	60
Tabelle 8: Mittelwert, Standardabweichung und Standardfehler des Mittelwerts der arterio-endexpiratorischen Differenz in mmHg bei messbarem und nicht-messbarem Blutdruck .....	62

## 9 Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
AaDCO <sub>2</sub>	arterio-endexpiratorische Differenz
ACC	American College of Cardiology
AHA	American Heart Association
ALS	Advanced Life Support
AMV	Atemminutenvolumen
ASA-Score	American Society of Anesthesiologists Klassifikation
Baby-NAW	Baby-Notarztwagen
BE	Base Excess
BGA	Blutgasanalyse
bzw.	beziehungsweise
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CPAP	Continous Positive Airway Pressure
d.h.	das heißt
EKG	Elektrokardiogramm
etCO <sub>2</sub>	Endtidales Kohlendioxid
FiO <sub>2</sub>	inspiratorische Sauerstofffraktion
GCS	Glasgow-Coma-Scale
Hb	Hämaoglobin
HCO <sup>3-</sup>	Hydrogenkarbonat
Hkt	Hämatokrit
IBP	Invasive Blood Pressure
iCa <sup>2+</sup>	Ionisiertes Calcium
IHT	Interhospitaltransfer
K <sup>+</sup>	Kalium
KTW	Krankentransportwagen
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
mmol	Millimol
Na <sup>+</sup>	Natrium
NACA	National Advisory Committee for Aeronautics
NEF	Notarzteinsatzfahrzeug
NIBP	Non Invasive Blood Pressure
o.g.	oben genannt

$\text{PaCO}_2$	Arterieller Kohlendioxidpartialdruck
$\text{P}_{\text{A}}\text{CO}_2$	Alveolärer Kohlendioxidpartialdruck
$\text{PaO}_2$	Arterieller Sauerstoffpartialdruck
$\text{pCO}_2$	Kohlendioxidpartialdruck
PEA	Pulslose elektrische Aktivität
pH	Negativ dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenaktivität
POC	Point of Care
$\text{pO}_2$	Sauerstoffpartialdruck
ROSC	Return Of Spontaneous Circulation
RTH	Rettungshubschrauber
RTW	Rettungswagen
SD	Standardabweichung
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
$\text{sO}_2$	Sauerstoffsättigung
$\text{SpO}_2$	partielle Sauerstoffsättigung
$\text{TCO}_2$	Totales Kohlendioxid
z.B.	zum Beispiel

## 10 Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt all denen, die zum Gelingen der Promotionsarbeit beigetragen haben:

Dem Direktor der Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie des Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Standort Marburg, Herrn Prof. Dr. Hinnerk Wulf für die Überlassung dieses Themas.

Dem Leiter des Zentrums für Notfallmedizin des Universitätsklinikum Gießen und Marburg, Standort Marburg, Herrn PD Dr. med. Clemens Kill für die äußerst kompetente Betreuung meiner Promotionsarbeit sowie die Bereitstellung von optimalen Arbeitsbedingungen.

Herzlichen Dank an die Geschäftsführung des Rettungsdienst Mittelhessen gGmbH, die angetrieben durch ihren stetigen Innovationsanspruch meine Arbeit tatkräftig unterstützt hat.

Vielen Dank an meine Kollegen des Rettungsdienst Mittelhessen, für die stets tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung und Datenerhebung, die auch in schwierigen Situationen immer gegeben war.

Der Firma Abbott für die Bereitstellung des Blutgasanalysegerätes.

Herzlichen Dank meiner Familie, der diese Arbeit gewidmet ist. Eure stetige Unterstützung hat mir das Studium der Humanmedizin und damit auch die Erstellung dieser Arbeit erst ermöglicht.

## **11 Verzeichnis der akademischen Lehrer**

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren in Marburg:

Becker, Bien, Czubayko, Donner-Banzhoff, Duda, Engenhardt-Cabillic, Fuchs, Geks, Görg, Gotzen, Grimm, Gudermann, Jungclas, Kann, Kill, Klose, Köhler, Kroll, Kuhlmann, Kühnert, Langer, Lohoff, Maier, Max, Mennel, Mutters, Müller, Moll, Moosdorf, Neubauer, Oertel, Pagenstecher, Renz, Richter, Rothmund, Schäfer, Schmidt, Vogelmeier, Wagner, Wulf



12Anhang: Studienprotokoll

lfd. Nummer:		LST-Nr.		Initialer Blutdruck (nichtinvasiv):							Geschlecht: m <input type="radio"/> w <input type="radio"/>		Notarzt:	
Datum:		NACA:		Maßnahmen vor IBP-Anlage (z.B. Medikamenten):							art. Zugang, Ort/Größe:			
Diagnose:		Alter:									FlowSwitch <input type="radio"/> Seldinger <input type="radio"/> VK <input type="radio"/>			
Startzeit:														
Zeit in min		0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50		
<b>IBP</b>														
systolisch														
diastolisch														
<b>Manuell</b>														
systolisch														
diastolisch														
HF														
<b>BGA</b>		1k			2k			3k			4k			
Interventionen/														
Maßnahmen														
O <sub>2</sub> in l/min														
SpO <sub>2</sub> %														
AF														
AMV														
PEEP														
etCO <sub>2</sub>														

Bemerkungen :